

## **PROJETO DE GRADUAÇÃO**

# **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO BIODIESEL DA PLANTA PILOTO DA UNB**

Por  
**Ricardo Hosannah de Carvalho**  
**Wagnei Lemes Martins**

**Brasília, 4 de Julho de 2012**

**UNIVERSIDADE DE BRASILIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE GRADUAÇÃO

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO BIODIESEL  
DA PLANTA PILOTO DA UNB**

POR

**Ricardo Hosannah de Carvalho  
Wagnei Lemes Martins**

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção  
do grau de Engenheiro Mecânico.

**Banca Examinadora**

Prof. Carlos Veras Gurgel, UnB/ ENM (Orientador)

\_\_\_\_\_

Prof.<sup>a</sup> Maria Del Pilar Hidalgo, UnB/ FGA (Coorientador)

\_\_\_\_\_

Prof. Fabio Alfaia da Cunha, UnB/ FGA

\_\_\_\_\_

Brasília, 4 de Julho de 2012

## **Agradecimentos**

*Agradecemos ao pai celestial por ter guiado nossa vida e tornado todas as nossas conquistas possíveis. Agradecemos às nossas famílias pelo apoio, carinho e inspiração.*

*Somos gratos aos professores Carlos Gurgel e Maria Pilar pela oportunidade e auxílio no decorrer do projeto. Agradecemos a todos que de alguma forma contribuíram para que o resultado final do projeto fosse positivo, em especial, ao mestre Eurípedes, ao Técnico Wesley, e aos alunos Glécia Virgolino, Felipe Melo, Vitor Magno, Victor Augusto, Robson Veloso, Luciano Santos, Marília Françolin, Daniel Rocha, Diego, Bárbara Nascimento, Cristiano Hosannah, Elisa Gonçalves.*

*Agradecemos aos amigos do curso pelos momentos inesquecíveis de dentro da sala de aula até a mesa do bar. Um abraço a todos os Barulhentos e aos Fritos, em especial para Makkz, Bavaris, G1, HI-4, Gaviota, Café, Herrera, Papa Capim, Jabu, Sorriso, Lukinhas, Khappalla, Tubarão, Espeto, Bobão, Marião, Cassandra, Rafinha, Bengous, Ódio, Belina, Encrenca, Barbie, Vicentão, Damaia, Obina, Tales, Zela, Baiano da solda, Pera, Will, Velho Matusa, Careca, Gigolô, Alce, Angolino, Sarah, Grilo, Han, Cazu, Mandy, Carolzinha, Uber, Bo, Vizinha, Danilão, Duds, Markão, Curupa, Fumiko, Shores Neves.*

---

## RESUMO

O mundo está carente de energia. Este fato, combinado com a crescente preocupação com o meio ambiente, gerou busca global por novas fontes de energia que sejam renováveis e menos poluentes. Com este pensamento, diversos países têm optado pela troca dos combustíveis fósseis por bicomcombustíveis. O presente projeto visa avaliar o desempenho que o biodiesel, da planta piloto da UnB, terá sobre o motor diesel comum. Para tal, será construída uma bancada de teste que exibirá a curva de torque, de potência, a quantidade de emissões e o consumo do combustível. Será apresentada uma metodologia de ensaio, a qual deve ser seguida em todos os ensaios para garantir a fidelidade dos resultados obtidos. Os resultados encontrados com diesel comercial serão utilizados como padrão e comparados com os resultados obtidos utilizando biodiesel (puro ou misturado ao diesel).

**Termos para indexação:** Biodiesel, Universidade de Brasília, UnB, FGA, desempenho, motor ciclo diesel, combustível alternativo.

---

## ABSTRACT

The world is starved of energy. This fact, combined with the growing concern about the environment, generated a global search for new energy sources that are renewable and less polluting. With this thought, many countries have opted for the replacement of fossil fuels for biofuels. This project aims to evaluate the performance of the biodiesel, fabricated at the UnB's pilot plant, will have on the diesel engine. The project will build a test stand that will display the torque curve, the power curve, the emissions and fuel consumption. The project will present a testing methodology, which should be followed in all trials to ensure the fidelity of the results. The results found with commercial diesel, will be used as standard and compared with results obtained using biodiesel (pure or mixed with diesel).

**Index terms:** Biodiesel, University of Brasilia, UnB, FGA, performance, cycle diesel engine, alternative fuel.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
2.1	MOTORES DO CICLO DIESEL .....	15
2.2	BIODIESEL .....	16
2.2.1	PANORAMA ATUAL .....	16
2.2.2	MICRO USINA DE BIODIESEL DA UNB/FGA .....	19
2.2.3	COMPATIBILIDADE COM MOTORES DIESEL .....	22
2.2.4	INFLUÊNCIA NA PARTIDA A FRIO .....	24
2.2.5	DESEMPENHO EM MOTORES DIESEL .....	24
2.2.6	EMISSIONES .....	25
2.2.7	OUTRAS CONSIDERAÇÕES .....	28
2.3	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS .....	30
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA E APARATO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>33</b>
3.1	DESCRIÇÃO DA BANCADA EXPERIMENTAL .....	33
3.1.1	CARACTERÍSTICAS DO MOTOR UTILIZADO .....	33
a.	DESCRIÇÃO DO MOTOR .....	33
b.	SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DO COMBUSTÍVEL .....	34
c.	SINCRONISMO DE VÁLVULAS .....	35
d.	SISTEMA DE ESCAPAMENTO .....	35
e.	SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO .....	35
f.	SISTEMA DE ARREFECIMENTO .....	35
3.1.2	MANUTENÇÃO DO MOTOR ANTES DOS TESTES .....	37
3.1.3	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS .....	38
a.	DINAMÔMETRO CAMPUS GAMA .....	38
b.	DINAMÔMETRO CAMPUS DARCY RIBEIRO .....	40
3.1.4	MANUTENÇÃO DA BANCADA DINAMOMÉTRICA DO LABORATÓRIO DE TERMOCIÊNCIA E METROLOGIA DINÂMICA – LTMD .....	42
3.1.5	SISTEMA DE ANÁLISE DE GASES .....	43
3.2	METODOLOGIA DE ENSAIO .....	43
3.2.1	ENSAIO NO DINAMÔMETRO .....	43
3.2.2	MEDIÇÃO DA VAZÃO DE COMBUSTÍVEL .....	45
3.2.3	MEDIÇÃO DAS EMISSIONES DE GASES DE ESCAPE .....	45
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>46</b>
4.1	DIESEL COMERCIAL .....	46
4.1.1	TORQUE .....	46
4.1.2	POTÊNCIA .....	47
4.1.3	CONSUMO .....	47
4.1.4	EMISSIONES .....	48
4.2	MISTURA B5 .....	49
4.2.1	TORQUE .....	49
4.2.2	POTÊNCIA .....	49
4.2.3	CONSUMO .....	50
4.2.4	EMISSIONES .....	51
4.3	MISTURA B15 .....	51
4.3.1	TORQUE .....	51
4.3.2	POTÊNCIA .....	52
4.3.3	CONSUMO .....	53
4.3.4	EMISSIONES .....	53
4.4	MISTURA B25 .....	54
4.4.1	TORQUE .....	54
4.4.2	POTÊNCIA .....	54
4.4.3	CONSUMO .....	55
4.4.4	EMISSIONES .....	56
4.5	MISTURA B50 .....	56
4.5.1	TORQUE .....	56
4.5.2	POTÊNCIA .....	57
4.5.3	CONSUMO .....	58
4.5.4	EMISSIONES .....	58
4.6	MISTURA B75 .....	59
4.6.1	TORQUE .....	59
4.6.2	POTÊNCIA .....	59
4.6.3	CONSUMO .....	60
4.6.4	EMISSIONES .....	61
4.7	BIODIESEL PURO B100 .....	61

4.7.1	TORQUE .....	61
4.7.2	POTÊNCIA .....	62
4.7.3	CONSUMO .....	63
4.7.4	EMISSÕES .....	63
4.8	COMPARATIVO - TORQUE .....	64
4.8.1	TORQUE EM KP .....	64
4.8.2	TORQUE EM KGF.M .....	65
4.9	COMPARATIVO – POTÊNCIA.....	66
4.9.1	POTÊNCIA EM KW .....	67
4.9.2	POTÊNCIA EM CV .....	67
4.10	COMPARATIVO – CONSUMO .....	69
4.10.1	CONSUMO EM G/KWH .....	69
4.10.2	CONSUMO EM LITROS/HORA .....	71
4.11	COMPARATIVO – EMISSÕES .....	73
4.11.1	EMISSÕES DE CO EM PORCENTAGEM DE VOLUME .....	73
4.11.2	EMISSÕES DE CO <sub>2</sub> EM PORCENTAGEM DE VOLUME .....	75
4.11.3	EMISSÕES DE O <sub>2</sub> EM PORCENTAGEM DE VOLUME .....	77
4.11.4	EMISSÕES DE HC EM PARTES POR MILHÃO.....	78
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>81</b>
<b>6</b>	<b>PROPOSTAS FUTURAS .....</b>	<b>83</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>84</b>

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Balanço de energia do biodiesel (BEN, 2011) .....	18
Figura 2 e Figura 3 - Contêiner da usina de biodiesel do Projeto da Faculdade do Gama – UnB (FALLA, 2011) .....	20
Figura 4 - Construção da estrutura da usina de biodiesel no interior de um contêiner para Projeto da Faculdade do Gama – UnB (FALLA, SILVA, et al., 2010) .....	20
Figura 5 - Processo de obtenção de biodiesel a partir da transesterificação metílica do óleo de soja – Projeto Faculdade de Gama-UnB .....	21
Figura 6 e Figura 7 - Imagens internas da Micro usina (FALLA, 2011) .....	22
Figura 8 - Emissões atmosféricas de B100 e B20 em comparação com o óleo diesel (USDA e USDE, 1998) .....	26
Figura 9 - Consumo de Petróleo do óleo Diesel, B20, B100 (USDA e USDE, 1998) .....	29
Figura 10 - Consumo de água do óleo diesel, B20, B100 (USDA e USDE, 1998) .....	29
Figura 11 - Ilustração de um Freio de Prony .....	30
Figura 12 - Modelo esquemático da bancada experimental .....	33
Figura 13 - Modelo esquemático do sistema de combustível .....	34
Figura 14 - Mangueiras flexíveis do sistema de arrefecimento .....	36
Figura 15 - Modelo esquemático do sistema de arrefecimento .....	36
Figura 16 - Filtros de combustível substituídos .....	37
Figura 17 - Conjunto de partes do dinamômetro elétrico (DYNO-MITE) .....	38
Figura 18 - Curva típica de um gerador de 10 HP (DYNO-MITE) .....	39
Figura 19 - Exemplo de curva traçada pelo software DYNO-MAX 2000 (DYNO-MITE) ....	40
Figura 20 - Dinamômetro hidráulico SCHENCK .....	41
Figura 21 - Modelo esquemático da bancada experimental Campus Darcy Ribeiro .....	42
Figura 22 e Figura 23 - Analisador de gases DiCiom 4000 .....	43
Figura 24 - Comparativo dos torques (kP), a 75% da carga .....	64
Figura 25 - Comparativo dos torques (kgf.m), a 75% da carga .....	65
Figura 26 - Diferença percentual do torque, a 75% da carga, comparado ao diesel .....	66
Figura 27 - Comparativo das potências (kW), a 75% da carga .....	67
Figura 28 - Comparativo das potências (CV), a 75% da carga .....	68
Figura 29 - Diferença percentual da potência, a 75% da carga, comparado ao diesel .....	69
Figura 30 - Comparativo dos consumos (g/kWh), a 75% da carga .....	70
Figura 31 - Diferença percentual do consumo (g/kWh), a 75% da carga, comparado ao diesel .....	71
Figura 32 - Comparativo dos consumos (l/h), a 75% da carga .....	72
Figura 33 - Diferença percentual do consumo (l/h), a 75% da carga, comparado ao diesel ....	73
Figura 34 - Emissões de CO (%vol), a 75% da carga .....	74
Figura 35 - Diferença percentual das emissões de CO (%vol), a 75% da carga, comparado ao diesel comercial .....	75
Figura 36 - Emissões de CO <sub>2</sub> (%vol), a 75% da carga .....	76
Figura 37 - Diferença percentual das emissões de CO <sub>2</sub> (%vol), a 75% da carga, comparado ao diesel comercial .....	77
Figura 38 - Emissões de O <sub>2</sub> (%vol), a 75% da carga .....	77
Figura 39 - Diferença percentual das emissões de O <sub>2</sub> (%vol), a 75% da carga, comparado ao diesel comercial .....	78
Figura 40 - Emissões de HC (ppm), em partes por milhão, a 75% da carga .....	79
Figura 41 - Diferença percentual das emissões de HC, a 75% da carga, comparado ao diesel comercial .....	80

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efeito do Biodiesel sobre emissões de escape (g / bhp-h). (USDA e USDE, 1998)	28
Tabela 2 - Torque utilizando o diesel comercial	46
Tabela 3- Potência utilizando o diesel comercial	47
Tabela 4- Consumo utilizando o diesel comercial	48
Tabela 5 - Emissões utilizando o diesel comercial	48
Tabela 6 - Torque utilizando a mistura B5	49
Tabela 7 - Potência utilizando a mistura B5	50
Tabela 8 - Consumo utilizando a mistura B5	50
Tabela 9 - Emissões utilizando a mistura B5	51
Tabela 10 - Torque utilizando a mistura B15	52
Tabela 11 - Potência utilizando a mistura B15	52
Tabela 12 - Consumo utilizando a mistura B15	53
Tabela 13 - Emissões utilizando a mistura B15	53
Tabela 14 - Torque utilizando a mistura B25	54
Tabela 15 - Potência utilizando a mistura B25	55
Tabela 16 - Consumo utilizando a mistura B25	55
Tabela 17 - Emissões utilizando a mistura B25	56
Tabela 18 - Torque utilizando a mistura B50	57
Tabela 19 - Potência utilizando a mistura B50	57
Tabela 20 - Consumo utilizando a mistura B50	58
Tabela 21 - Emissões utilizando a mistura B50	58
Tabela 22 - Torque utilizando a mistura B75	59
Tabela 23 - Potência utilizando a mistura B75	60
Tabela 24 - Consumo utilizando a mistura B75	60
Tabela 25 - Emissões utilizando a mistura B75	61
Tabela 26 - Torque utilizando a mistura B100	62
Tabela 27 - Potência utilizando a mistura B100	62
Tabela 28 - Consumo utilizando a mistura B100	63
Tabela 29 - Emissões utilizando a mistura B100	63
Tabela 30 - Torque, em kP, a 75% da carga	64
Tabela 31 - Torque, em kgf.m, a 75% da carga	65
Tabela 32 - Diferença percentual do torque, a 75% da carga, comparado ao diesel comercial	66
Tabela 33 - Potência, em kW, a 75% da carga	67
Tabela 34 - Potência, em CV, a 75% da carga	68
Tabela 35 - Diferença percentual da potência, a 75% da carga, comparado ao diesel comercial	69
Tabela 36 - Consumo, em g/kWh, a 75% da carga	70
Tabela 37 - Diferença percentual do consumo(g/kwh), a 75% da carga, comparado ao diesel comercial	71
Tabela 38 Consumo, em l/h, a 75% da carga	72
Tabela 39 - Diferença percentual do consumo (l/h), a 75% da carga, comparado ao diesel comercial	73
Tabela 40 – Emissões de CO, em % de volume, a 75% da carga	74
Tabela 41 - Diferença percentual das emissões de CO, a 75% da carga, comparado ao diesel comercial	74
Tabela 42 - Emissões de CO <sub>2</sub> , em % de volume, a 75% da carga	75



Tabela 43 - Diferença percentual das emissões de CO <sub>2</sub> , a 75% da carga, comparado ao diesel comercial .....	76
Tabela 44 - Emissões de O <sub>2</sub> , em % de volume, a 75% da carga .....	77
Tabela 45 - Diferença percentual das emissões de O <sub>2</sub> , a 75% da carga, comparado ao diesel comercial .....	78
Tabela 46 - Emissões de HC, em partes por milhão, a 75% da carga.....	79
Tabela 47 - Diferença percentual das emissões de HC, a 75% da carga, comparado ao diesel comercial .....	79

# LISTA DE SÍMBOLOS

## Símbolos Latinos

$C_p$	Calor específico a pressão constante	[kJ/kg.K]
$C_v$	Calor específico a volume constante	[kJ/kg.K]
$E_a$	Energia de ativação da reação química	[J]
$K$	Constante de velocidade de reação química	
$m$	Massa	[kg]
$\dot{m}_b$	Vazão mássica de biodiesel	[kg/h]
$\dot{m}_d$	Vazão mássica de diesel	[kg/h]
$\dot{m}_e$	Vazão mássica de etanol	[kg/h]
$n$	Rotação do motor	[RPM]
$P$	Pressão	[kPa]
$PCI_b$	Poder Calorífico Inferior do biodiesel	[kJ/kg]
$PCI_d$	Poder Calorífico Inferior do diesel	[kJ/kg]
$PCI_e$	Poder Calorífico Inferior do etanol	[kJ/kg]
$PE$	Potência Efetiva	[kW]
$Q$	Calor	[J]
$r_v$	Razão de compressão	
$R$	Constante geral dos gases	[J /mol.K]
$T$	Temperatura	[K]
$V$	Volume	[m <sup>3</sup> ]
$W$	Trabalho	[J]

## Símbolos Gregos

$\beta$	Taxa de expansão
$\gamma$	Razão de calor específico
$\eta$	Eficiência

## Subscritos

$amb$	Ambiente
$ext$	Externo
$in$	Entrada
$ex$	Saída

## Sobrescritos

- Variação temporal
- Valor médio

## Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
B0	Diesel Comercial
B5	Mistura de 5% de biodiesel ao diesel comercial
B15	Mistura de 15% de biodiesel ao diesel comercial
B25	Mistura de 25% de biodiesel ao diesel comercial
B50	Mistura de 50% de biodiesel ao diesel comercial
B75	Mistura de 75% de biodiesel ao diesel comercial
B100	Biodiesel puro
BEN	Balanco energético Nacional
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
EIA	U.S. Energy Information Administration
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FGA	Campus Gama
IEO	<i>International Energy Outlook</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
UnB	Universidade de Brasília
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
USDE	Departamento de Energia dos Estados Unidos
PMS	Ponto Médio Superior
PMI	Ponto Médio Inferior

# 1 INTRODUÇÃO

Segundo o International Energy Outlook – 2011 (IEO, 2011), publicado pelo departamento de energia dos EUA, o consumo de energia no mundo foi de 505 quatrilhões de Btu (unidades térmicas britânicas) em 2008. A previsão é que esse número seja elevado para cerca de 619 quatrilhões de Btu em 2020 e 770 quatrilhões de Btu em 2035. Os valores evidenciam um crescimento de 53% na necessidade mundial de energia se mantidas as leis e políticas energéticas atuais.

Combinando o aumento da demanda de energia com o crescente desenvolvimento da consciência ambiental surge o grande desafio de desenvolver uma maneira de produzir a energia demandada de forma renovável. No Brasil, o diesel é o principal derivado do petróleo utilizado na área de transporte. Devido a sua composição química, o óleo diesel é um dos combustíveis mais poluentes. Para reduzir o elevado desgaste ambiental, o governo brasileiro e seus pesquisadores têm apostado na utilização de biocombustíveis.

O biocombustível é combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil (LEI.Nº.11.097, 2005).

O biodiesel é um biocombustível para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão (LEI.Nº.11.097, 2005). É constituído de uma mistura de ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos obtidos da reação de transesterificação de qualquer triglicerídeo com um álcool de cadeia curta, metanol ou etanol, respectivamente. (PARENTE, 2003).

O Brasil pela sua imensa extensão territorial, associada às excelentes condições climáticas, é considerado um país, por excelência, para a exploração da biomassa para fins alimentícios, químicos e energéticos (PARENTE, 2003).

Devido à grande demanda do óleo diesel e aos gastos públicos com sua importação, o Governo Federal decidiu investir no biodiesel e criou o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), em 2004. O programa foi instituído com o objetivo de fomentar com sustentabilidade a utilização e a produção de biodiesel, focando, também, na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de emprego e renda no campo.

Segundo a LEI.Nº.11.097 (2005) - que regula o mercado deste biocombustível - fica

estabelecida a obrigatoriedade de adição de um percentual mínimo de Biodiesel ao óleo diesel comercializado nas bombas de combustível de todo o país. Hoje, no Brasil, utiliza-se o B5 (mistura de 5% de Biodiesel ao convencional), antecipando em três anos as metas inicialmente estabelecidas pelo programa.

A aposta no biodiesel provém da vantagem de sua adaptabilidade aos motores de ciclo diesel, pois enquanto outras fontes limpas de combustível necessitam de adaptação dos motores, o biodiesel pode ser utilizado diretamente, misturado ao diesel ou não, sendo capaz de atender a toda a frota já existente movida a óleo diesel (OLIVEIRA e COSTA).

De forma geral, pode-se dizer que o B2, o B5 e o B10 apresentaram desempenho semelhante ao do diesel. O biodiesel puro (B100), devido ao seu menor poder calorífico, apresenta maior consumo específico, menor torque e menor potência. Porém, identifica-se que para altas rotações a curva de desempenho do biodiesel se aproxima ao do diesel, evidenciando a atomização ineficiente do combustível, o que prejudicou a queima deste em baixas rotações (CASTELLANELLI, SOUZA, et al., 2008).

Um estudo realizado, pelos Departamentos de Agricultura e de Energia dos Estados Unidos, (USDA e USDE, 1998), é feita a comparação do óleo diesel com o biodiesel B20 e B100, levando em consideração a emissão de gases poluentes, o consumo de água e o consumo de petróleo, desde a produção até a queima pelo motor. A pesquisa mostrou que o biodiesel reduz significativamente a maioria dos gases emitidos na análise. Mostrou também, que o ciclo de vida do biodiesel exige grandes quantidades de água, chegando a ter três ordens de grandeza a mais do que a do óleo diesel.

Além do gasto excessivo da água, a produção do biodiesel exige uma demanda de matéria-prima, utilizando uma vasta área agrícola e degradando os nutrientes deste solo. A utilização do solo agrícola compete diretamente com produção de alimentos, fato que dificultaria a estabilização do preço do biodiesel no mercado. Por estes motivos, este tipo de combustível tem encontrado dificuldades para substituir o óleo diesel, mantendo-o apenas como aditivo.

Este trabalho é motivado pela busca de combustíveis mais sustentáveis. O objetivo principal do trabalho é a avaliação de qualidade do biodiesel produzido na microusina do campus Gama da Universidade de Brasília. Posteriormente, o biodiesel fabricado nesta planta piloto será produzido a partir de óleo de fritura, tornando todo o processo ainda mais sustentável. Como objetivo secundário busca-se a possibilidade de adição desse biodiesel na frota de Caminhões a diesel da UnB. Para isso, tem-se a verificação experimental do desempenho e emissões de um motor do ciclo diesel, sem qualquer alteração, operando com

biodiesel.

O diesel comercial brasileiro já possui 5% de biodiesel em sua composição, porém este biodiesel não é parte do nosso estudo. Sendo assim, o diesel vendido na bomba de combustível foi denominado diesel comercial (B0) e as misturas apresentadas nesse trabalho representarão a quantidade do biodiesel em estudo adicionado no diesel comercial, sendo denominadas pela letra B seguida da porcentagem de biodiesel adicionado, por exemplo, a mistura B15 consiste em 85% de diesel comercial e 15% do biodiesel em estudo.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 MOTORES DO CICLO DIESEL

O motor diesel é um motor de combustão interna inventado pelo engenheiro alemão Rudolf Diesel.

No motor de ciclo diesel a combustão se faz pelo aumento da temperatura provocado pela compressão de ar.

Na maioria das aplicações os motores diesel funcionam a quatro tempos, conforme enumerados abaixo:

- 1- O ciclo inicia-se com o êmbolo no Ponto Morto Superior (PMS). A válvula de admissão está aberta e o êmbolo aspira o ar para dentro do cilindro ao descer.
- 2- O êmbolo atinge o Ponto Morto Inferior (PMI) e inicia-se então a compressão. A temperatura do ar dentro do cilindro aumenta substancialmente devido à diminuição do volume.
- 3- Pouco antes do PMS, o combustível começa a ser pulverizado pelo ejetor em finas gotículas, misturando-se com o ar quente até que se dê a combustão. A combustão é controlada pela taxa de injeção de combustível, ou seja, pela quantidade que é injetada. O combustível começa a ser injetado um pouco antes do PMS, devido ao fato de, desta forma, atingir a quantidade suficiente para uma perfeita mistura (ar + combustível) e, conseqüentemente, uma boa combustão. A expansão começa após o PMS do êmbolo com a mistura (ar + combustível) na proporção certa para a combustão espontânea, onde o combustível continua a ser pulverizado até momentos antes do PMI.
- 4- O ciclo termina com a fase de escape, onde o êmbolo retorna ao PMS, o que faz com que os gases de combustão sejam expulsos do cilindro, retomando assim o ciclo.

O motor ciclo diesel, trabalhando a quatro tempos, possui basicamente três grandes diferenças de um motor ciclo Otto, quais sejam:

- 1- O motor aspira e comprime apenas ar, trabalhando com uma queima difusiva, diferentemente do ciclo Otto, que trabalha com pré-mistura.

- 2- Um sistema de injeção dosa, distribui e pulveriza o combustível em direção aos cilindros. O combustível inflama-se ao entrar em contato com o ar fortemente aquecido pela compressão, ou seja, a ignição se dá por compressão e não por centelha como no ciclo Otto.
- 3- A taxa de compressão utilizada nos motores diesel é de aproximadamente 19:1, sendo que atualmente, com a evolução destes motores, essas taxas chegam a ultrapassar a marca de 23:1. Motores a álcool possuem taxa de compressão da ordem de 12:1, enquanto motores a gasolina, sem dispositivos eletromecânicos auxiliares operam com taxa não superior a 10:1.

## **2.2 BIODIESEL**

### **2.2.1 PANORAMA ATUAL**

De acordo com a International Energy Outlook 2011 (IEO, 2011), ao longo dos próximos 25 anos, a demanda por combustíveis líquidos aumentará mais rapidamente no setor de transportes do que em qualquer outro setor de utilização final. A parcela de energia relacionada ao transporte (combustíveis a base de petróleo) não irá se alterar significativamente ao longo do período de projeção, mas o domínio do petróleo pode começar a ser desafiado por tecnologias avançadas.

A perspectiva de aumento de preço do petróleo e preocupações ambientais sobre as emissões associadas à combustão de petróleo representam desafios para os países que estão enfrentando a rápida motorização e têm que importar grande parte de seus suprimentos de combustível para transporte. Como resultado, as tendências futuras na demanda de transporte serão influenciadas por políticas governamentais direcionadas à redução das emissões e na promoção de combustíveis alternativos (IEO, 2011).

O Brasil tem em sua geografia grandes vantagens agronômicas por se situar em uma região tropical, com altas taxas de luminosidade e temperaturas anuais medianas, associada à disponibilidade hídrica e regularidade de chuvas. Assim, o Brasil é o país com maior potencial para produção de energia renovável e foi o primeiro país a adotar misturas de combustíveis renováveis aos combustíveis fósseis (gasolina com etanol) no final da década de 1970.

Com este mesmo intuito, a ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis), no dia 19 de março de 2008, apresenta a resolução nº 7 - complementando



a Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005-, estabelecendo a obrigatoriedade de adição de 5%, em volume, de Biodiesel ao óleo diesel comercializado nas bombas de combustível de todo o país, a partir de 1º de janeiro de 2010.

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE) publica anualmente o Balanço Energético Nacional (BEN), que contém a contabilidade relativa à oferta e consumo de energia no Brasil.

De acordo com o BEN2011, no ano de 2010 ocorreu uma forte elevação da atividade no setor de transporte no Brasil. A demanda por combustíveis no setor aumentou 10,8%, em relação a 2009. Foram registradas altas de 7,1% na produção de etanol e de 49,0% na produção de biodiesel, fatos que contribuíram para preservar a elevada renovabilidade da matriz nacional do setor transportes (17,5% contra 3,0% da matriz mundial do mesmo segmento).

Em 2010 o montante de B100 produzido no país atingiu 2.397.272 m<sup>3</sup> contra 1.608.053 m<sup>3</sup> do ano anterior. Com isto, verificou-se aumento de 49,1% no biodiesel disponibilizado no mercado interno. Ao longo de 2010 o percentual de B100 adicionado compulsoriamente ao diesel mineral foi constante em 5%. A principal matéria prima foi o óleo de soja (82,2%), seguido do sebo bovino (13,0%).

FLUXO	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	FLOW
PRODUÇÃO	0	0	0	0	1	69	404	1.167	1.608	2.397	PRODUCTION
VARIAÇÃO DE ESTOQUES, PERDAS E AJUSTES <sup>1</sup>	0	0	0	0	0	0	0	-42	-43	0	STOCK VARIATIONS, LOSSES AND ADJUSTMENTS <sup>1</sup>
CONSUMO TOTAL	0	0	0	0	1	69	404	1.125	1.565	2.397	TOTAL CONSUMPTION
TRANSFORMAÇÃO <sup>1</sup>	0	0	0	0	0	0	0	54	70	121	TRANSFORMATION <sup>1</sup>
CONSUMO FINAL <sup>2</sup>	0	0	0	0	1	69	404	1.071	1.495	2.276	FINAL CONSUMPTION <sup>2</sup>
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO <sup>3</sup>	0	0	0	0	1	69	404	1.071	1.495	2.276	FINAL ENERGY CONSUMPTION <sup>3</sup>
COMERCIAL	0	0	0	0	0	0	0	2	2	2	COMMERCIAL
PÚBLICO	0	0	0	0	0	0	0	3	4	1	PUBLIC
AGROPECUÁRIO	0	0	0	0	0	0	0	164	226	323	AGRICULTURE
TRANSPORTES <sup>4</sup>	0	0	0	0	1	69	404	876	1.228	1.864	TRANSPORTATION <sup>4</sup>
RODOVIÁRIO	0	0	0	0	1	68	396	858	1.202	1.825	HIGHWAYS
FERROVIÁRIO	0	0	0	0	0	1	8	18	26	39	RAILROADS
INDUSTRIAL	0	0	0	0	0	0	0	22	29	36	INDUSTRIAL
CIMENTO	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	CEMENT
FERRO-GUSA E AÇO	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	PIG-IRON AND STEEL
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	0	0	0	0	0	0	0	7	9	15	MINING/PELLETIZATION
QUÍMICA	0	0	0	0	0	0	0	4	6	2	CHEMICAL
ALIMENTOS E BEBIDAS	0	0	0	0	0	0	0	2	3	8	FOODS AND BEVERAGES
TÊXTIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	TEXTILES
PAPEL E CELULOSE	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0	PAPER AND PULP
CERÂMICA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	CERAMICS
OUTROS	0	0	0	0	0	0	0	4	5	8	OTHERS

<sup>1</sup> Geração de eletricidade. / Input for electricity generation.

<sup>2</sup> A partir de 2008 a mistura de biodiesel puro (B100) ao óleo diesel passou a ser obrigatória. Entre janeiro e junho de 2008 a mistura foi de 2%, entre julho de 2008 e junho de 2009 foi de 3% e entre julho e dezembro de 2009 foi de 4%. / Since 2008 the blend of pure biodiesel (B100) in diesel oil has become mandatory. Between January and June 2008 the mix was 2%, between July 2008 and June 2009 it was 3% and between July and December 2009 it was 4%.

<sup>3</sup> Admitiu-se a hipótese de que antes de 2008 todo o consumo de biodiesel foi no setor transportes. / It was admitted that before 2008 all the biodiesel consumption was in the transportation sector.

<sup>4</sup> O óleo diesel para transporte aquaviário só deverá conter biodiesel a partir de 01/01/2012. / The diesel oil for waterways transportation should only contain biodiesel from 01/01/2012.

**Figura 1 - Balanço de energia do biodiesel (BEN, 2011)**

A EPE também apresenta um relatório anual de Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis com os fatos mais relevantes ocorridos no cenário dos combustíveis renováveis, durante o ano.

A capacidade instalada autorizada pela ANP para comercialização de biodiesel, até janeiro de 2011, é de 5,75 bilhões de litros/ano. Já há autorização expedida pela agência de uma capacidade adicional de 1,3 bilhões de litros/ano, resultado da ampliação e construção de novas usinas.

Em curto prazo, há expectativas de subida dos preços do petróleo, e prevalecendo a tendência histórica, o óleo de soja também terá seus preços internacionais majorados e, consequentemente, repassados ao biodiesel.

A matéria-prima principal na síntese do biodiesel deverá continuar sendo o óleo de soja, pelo menos nos próximos cinco anos, visto não haver ainda uma agricultura voltada para oleaginosas alternativas, com produção mais estruturada que a da soja. Os programas governamentais de fomento para produção de outros óleos, tais como o dendê, assim como algumas iniciativas de empresas como Vale e Petrobras só produzirão efeitos no médio prazo.

### **2.2.2 MICRO USINA DE BIODIESEL DA UNB/FGA**

Seguindo o crescente intuito ambiental de geração de combustíveis alternativos, visando o desenvolvimento sustentável aliado com a redução de emissões de gases poluentes ao ambiente, a Universidade de Brasília, campus Gama (FGA), instalou uma planta-piloto de produção de biodiesel em julho de 2010. O projeto Microusina de Biodiesel é coordenado pela professora Dr<sup>a</sup> Maria Del Pilar Hidalgo Falla. Atualmente, a micro usina está em pleno funcionamento, sendo capaz de produzir até 200 litros de biodiesel por dia, utilizando como matéria prima o óleo da soja de óleo de fritura (FALLA, 2011).

A usina encontra-se em fase de teste de qualidade do biodiesel gerado com a matéria prima de óleo de soja e já iniciou a próxima etapa, que consiste na produção de biodiesel a partir de óleos de fritura reciclados.

O óleo de fritura utilizado será coletado na região do campus, em residências, restaurantes e empresas pelo Projeto Bio-Gama/FGA, contribuindo para o reaproveitamento sustentável deste óleo e evitando o possível despejo na rede de esgotos do Distrito Federal. A coleta também receberá apoio da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB) (FALLA, SILVA, *et al.*, 2010).

Para facilitar o traslado, seja para o campus ou para demonstração do projeto nas comunidades e empresas interessadas, a microusina de produção de Biodiesel foi construída dentro de um contêiner, como mostram nas Figs. (2) a (4).



**Figura 2 e Figura 3 - Contêiner da usina de biodiesel do Projeto da Faculdade do Gama – UnB (FALLA, 2011)**



**Figura 4 - Construção da estrutura da usina de biodiesel no interior de um contêiner para Projeto da Faculdade do Gama – UnB (FALLA, SILVA, et al., 2010)**

O processo de produção se inicia no tanque Óleo tratado, onde é colocado o óleo de soja puro. Caso a produção seja com óleo de fritura, este é adicionado no tanque Óleo bruto, onde sua acidez é regulada, podendo assim ser transferido para o tanque Óleo tratado. O óleo tratado é enviado para o tanque Reator onde será misturado com o catalisador.

Esse processo de produção de biodiesel segue a rota metélica. Sendo assim, no tanque Catalisador são adicionados metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) e hidróxido de potássio ( $\text{KOH}$ ) formando metóxido de potássio ( $\text{CH}_3\text{OK}$ ) e água ( $\text{H}_2\text{O}$ ). O produto passa por um secador, para a retirada de água, e segue para o tanque Reator.

No tanque Reator a mistura permanece por cerca de duas horas a uma temperatura de  $70^\circ\text{C}$ . A solução segue para o tanque Decantador, onde ficará por cerca de 6 horas, separando a mistura em biodiesel e glicerina. A glicerina resultante é enviada para o tanque Glicerina. Nesta etapa o biodiesel produzido ainda apresenta muitas impurezas e ph básico (ph  $\sim 10$ ). Para melhorar a qualidade do combustível, o biodiesel segue por três tanques de lavagem.

No tanque Lavagem 01 o biodiesel é misturado com água, na proporção de 1 para 1, e com 0,5% em volume de ácido clorídrico (HCl). Nesse processo o ph do biodiesel é neutralizado. Após duas horas, a água se separa do biodiesel por decantação. A água segue para o tanque Água de lavagem e o biodiesel segue para o tanque Lavagem 02. Neste tanque o biodiesel é misturado com água, na proporção de 1 para 1, e com 5% em volume de cloreto de sódio (NaCl). Esta etapa retira-se o sabão presente no biodiesel. Após duas horas, a água se separa do biodiesel por decantação e é enviada para o tanque Água de lavagem enquanto o biodiesel segue para o tanque Lavagem 03. Neste tanque o biodiesel é misturado com água, na proporção de 1 para 1, retirando qualquer impurezas que ainda possam estar presentes no combustível. Após duas horas, a água se separa por decantação e é enviada para o tanque Água de lavagem enquanto o biodiesel segue para o tanque Secagem.

No tanque Secagem o biodiesel é mantido a uma pressão de 200 psi e uma temperatura de cerca de 100°C. Nesta etapa a água contida no biodiesel, na forma de emulsão, é retirada, deixando o biodiesel pronto para ser utilizado. O biodiesel segue para o tanque Biodiesel onde fica armazenado para uso posterior.

A figura (5) ilustra a as etapas descritas da produção de biodiesel.

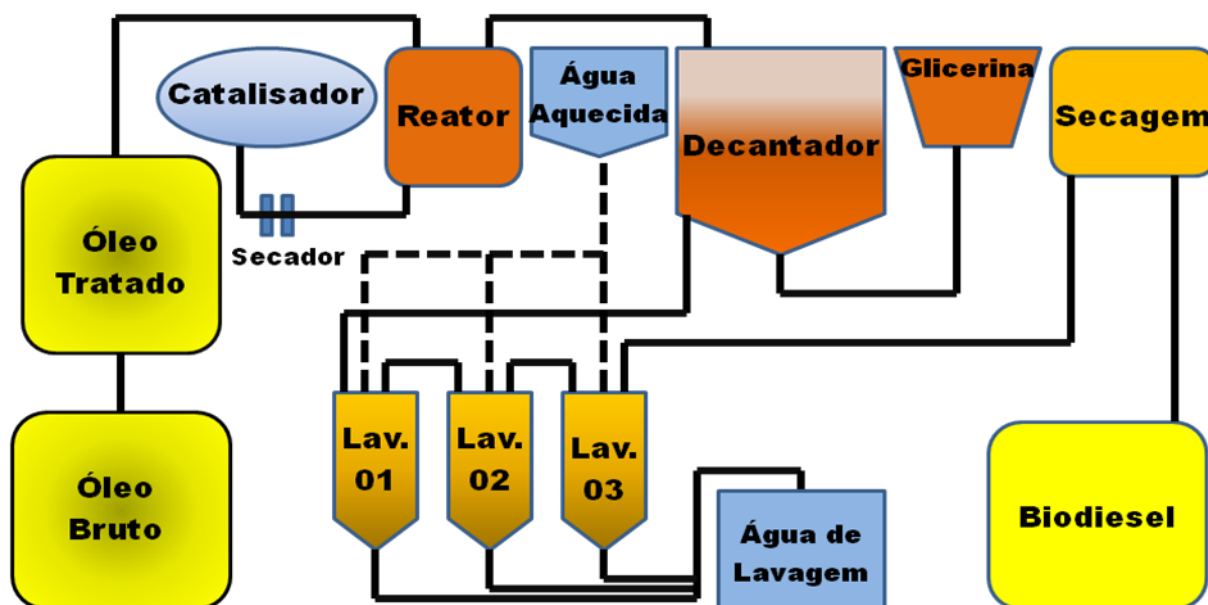


Figura 5 - Processo de obtenção de biodiesel a partir da transesterificação metílica do óleo de soja –  
Projeto Faculdade de Gama-UnB

A glicerina resultante do processo é utilizada no projeto de biolubrificantes para fabricar graxas e óleos lubrificantes e no projeto de poços de perfuração para a fabricação de fluido de perfuração.



**Figura 6 e Figura 7 - Imagens internas da Micro usina (FALLA, 2011)**

O Projeto Microusina de Biodiesel auxilia a realização de pesquisas acadêmicas sobre os temas de educação ambiental, produção e utilização do biodiesel e motores de combustão interna. Entre outros estudos, pode-se citar o desenvolvimento de tecnologias para a produção de biodiesel; o controle de qualidade do biodiesel produzido; recuperação e aplicações da glicerina e rejeitos obtidos no processo de produção do biodiesel; testes de motor com estudos da eficiência do biocombustível; estudo de desgaste de motor utilizando bicomcombustíveis; desenvolvimento de nanosensores para rápido controle de processo in-line/on-line; controle de emissões. Além disso, o projeto visa à realização de aulas didáticas e a utilização do biodiesel produzido na frota de veículos pertencentes a UnB (FALLA, 2011).

### **2.2.3 COMPATIBILIDADE COM MOTORES DIESEL**

O combustível utilizado nos motores diesel deve ser produzido de modo a atender a requisitos específicos de qualidade. Tais requisitos visam garantir que o produto apresente condições de suportar todas as exigências necessárias ao bom funcionamento dos motores diesel, inclusive a de manter um baixo nível de emissão de poluentes.

A combustibilidade de um combustível diz respeito ao seu grau de facilidade para realizar a combustão no motor de forma adequada. Em motores do ciclo diesel a

combustibilidade relaciona-se principalmente ao poder calorífico e ao número de cetano do combustível.

GRABOSKI e MCCORMICK resumiram diversos estudos experimentais das características de biodiesel. Eles relatam que o número de cetano do biodiesel varia de 45,8 a 56,9 para o éster metílico de óleo de soja, com uma média de 50,9. Para fins de comparação, o índice de cetano para o diesel do petróleo varia de 40 a 52. Isso implica que um controle de produção cuidadosa pode resultar em produtos de biodiesel com números de cetano no limite superior do intervalo, enquanto o diesel do petróleo tende ao limite inferior.

Segundo o MCT (2009), o biodiesel puro possui o poder calorífico cerca de 11% menor do que o do óleo diesel, causando uma pequena perda de potência dos motores, de aproximadamente 5% a 7% da potência máxima.

Outros requisitos de qualidade são a viscosidade cinemática e a tensão superficial, pelo fato de definirem a qualidade de pulverização na injeção do combustível, além de participarem também como fatores de qualidade da combustão. Tais propriedades exercem grande influência na circulação e na injeção do combustível. Segundo o MCT (2009), a utilização do biodiesel aumenta a pressão máxima de injeção, devido à maior viscosidade deste. O novo valor encontrado, contudo, ainda está dentro dos limites admissíveis.

O teor de enxofre e de hidrocarbonetos aromáticos no combustível são características importantes em se tratando do impacto ambiental das emissões. A compatibilidade ao uso diz respeito à longevidade do motor e dos seus componentes periféricos, representada pela lubricidade e pela corrosividade. Esta última é definida principalmente pelo teor de enxofre e pela acidez do combustível. Segundo os departamentos USDA e USDE (1998), o biodiesel é vantajoso neste aspecto por não apresentar enxofre e compostos aromáticos em sua composição, eliminando as emissões de escape de  $\text{SO}_x$ .

A compatibilidade do manuseio diz respeito ao transporte, ao armazenamento e à distribuição do combustível. A corrosividade, a toxidez, o ponto de fulgor e a estabilidade oxidativa são as propriedades mais importantes neste item. Por não possuir enxofre em sua composição o biodiesel apresenta menor corrosividade e menor toxidez. Seu ponto de fulgor é mais elevado que o do diesel garantido maior segurança no transporte do combustível. O grande problema do armazenamento do biodiesel é sua instabilidade oxidativa, precisando de aditivos antioxidantes para armazenamento por longos e médios períodos.



#### **2.2.4 INFLUÊNCIA NA PARTIDA A FRIO**

Segundo REZENDE e ÁVILA (2008), os motores de combustão interna com ignição por compressão utilizados em veículos diesel estão sujeitos a problemas de funcionamento e/ou de desempenho em situações de partida a frio. Parafinas de alta massa molar presentes nesse combustível se cristalizam a baixas temperaturas, formando uma cera suspensa na fase líquida. Esses cristais podem interromper o fluxo de combustível devido ao entupimento do filtro.

Da mesma forma que o óleo diesel, o biodiesel também está sujeito a problemas de entupimento de filtro. O comportamento a frio do biodiesel está diretamente relacionado com a composição do triglicerídeo da matéria-prima de origem.

O biodiesel produzido a partir de matéria-prima composta por alta concentração de ácidos graxos saturados de cadeias longas tende a ter baixa fluidez em temperaturas baixas. Uma amostra de biodiesel com elevada concentração de insaturados, apesar de possuir boas características de fluidez, apresenta baixa estabilidade à oxidação. O equilíbrio dessas duas propriedades pode ser atingido através do balanço entre saturados e insaturados ou por meio de aditivos.

#### **2.2.5 DESEMPENHO EM MOTORES DIESEL**

Motores de ciclo diesel, sem qualquer alteração e operando com biodiesel tendem a apresentar um desempenho menor se comparado à utilização do óleo diesel, devido ao fato do biodiesel apresentar um menor poder calorífico.

CASTELLANELLI, SOUZA, *et al.*, (2008), apresentam o estudo de desempenho de misturas de biodiesel em motores diesel. No experimento, o biodiesel puro apresenta desempenho inferior nos quesitos potência, torque e consumo específico quando comparado ao diesel puro. Essa diferença já era esperada devido ao menor poder calorífico. Porém, na análise das curvas, observou-se um distanciamento maior entre as curvas em certa faixa de rotação, o que sugere que houve atomização ineficiente do combustível, devido à má atomização pelo sistema de injeção, prejudicando, dessa maneira, a queima incompleta do combustível em regimes de baixas e médias rotações.

Seu estudo mostrou também que a mistura de biodiesel no diesel em pequenas quantidades - como o B2, o B5 e o B10- apresentam desempenho semelhante ao do diesel. O B20 destacou-se, apresentando desempenho superior ao do diesel. Na sequência da análise, misturas de B50 e B75, houve queda do desempenho de forma gradual à medida que se



aumentou a percentagem de biodiesel. O biodiesel puro (B100) apresentou o pior desempenho, mas apresenta valores mais próximos aos do diesel em altas rotações.

Foi constatado também que nenhuma das misturas prejudica a estrutura e o funcionamento do motor diesel.

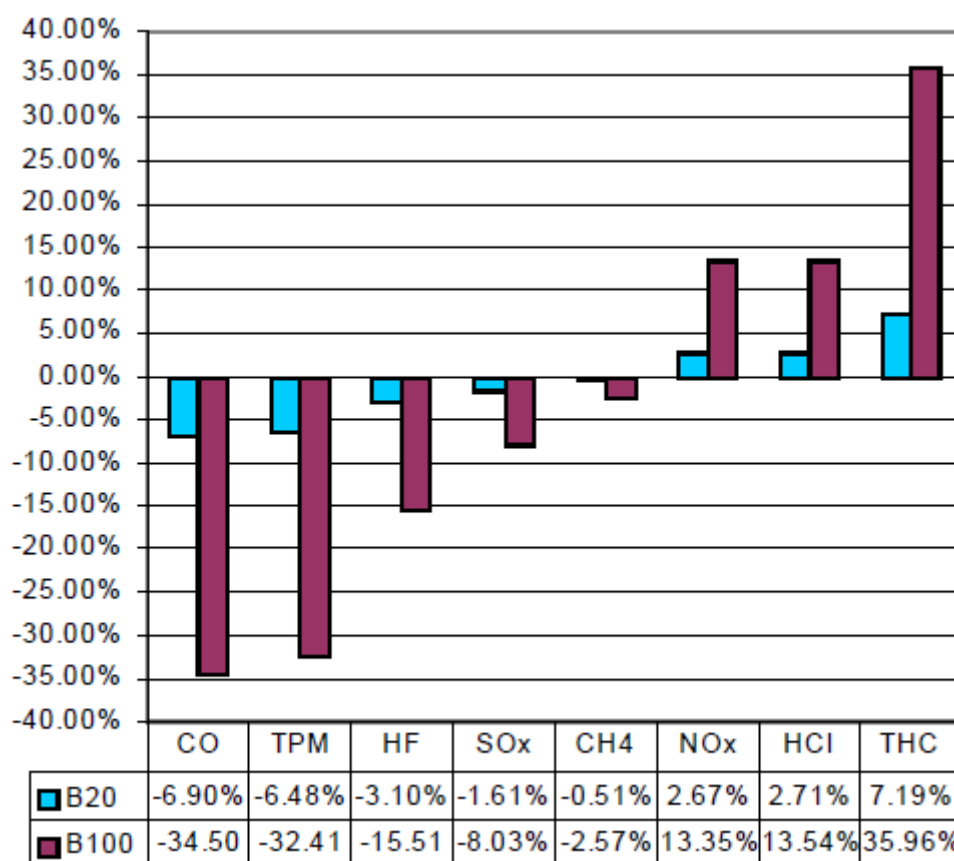
### **2.2.6 EMISSÕES**

No estudo realizado, em 1998, pelos Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) e Departamento de Energia dos Estados Unidos (USDE), o óleo diesel é comparado com o biodiesel B20 e B100, levando em consideração a emissão de gases poluentes durante todo o ciclo de vida destes.

Os poluentes atmosféricos regulamentados são: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), materiais particulados menores que 10 micrometros (PM10), óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ) e hidrocarbonetos não metânicos (NMHC). As emissões destes poluentes do ar são regulados no tubo de escape para motores a diesel.

O  $\text{SO}_x$  não tem limites de escape específicos, mas é controlado através do teor de enxofre do combustível. Outras emissões atmosféricas incluídas no estudo são  $\text{CH}_4$ , benzeno, formaldeído, óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ácido clorídrico (HCl), ácido fluorídrico (HF) e amônia. O  $\text{N}_2\text{O}$  é associado com as emissões de área agrícola. O HCl e o HF são associados com a combustão de carvão em usinas de energia elétrica e a amônia é liberada, principalmente, por fertilizantes durante a produção.

O artigo analisa a substituição do óleo diesel pelo biodiesel em um ônibus urbano. A Figura (8) resume os resultados encontrados, mostrando a diferença nas emissões dos combustíveis B100 e B20 quando comparada às emissões do óleo diesel. A maior redução (34,5%) das emissões de ar que ocorre para o CO quando utilizado o biodiesel B100. A eficácia do B20 cai proporcionalmente com o nível de mistura.



**Figura 8 - Emissões atmosféricas de B100 e B20 em comparação com o óleo diesel (USDA e USDE, 1998)**

As emissões de materiais particulados utilizando o combustível B100 são 32,41% inferiores às do diesel. Tal como acontece com o CO, a eficácia do biodiesel na redução de materiais particulados cai proporcionalmente com o nível de mistura.

Este é um resultado direto de reduções de PM10 - materiais particulados menores que 10 micrômetros - no tubo de escape, que são 68% menores para ônibus urbanos operando em B100 em relação ao diesel de petróleo. O controle de emissões de PM10 por fontes móveis é muito importante, devido ao seu papel em doenças respiratórias.

As emissões totais de HC (THC) de escape registradas utilizando o B100 foram 37% menores que as do diesel. Em contrapartida, o combustível B100 exibiu emissões de HC 35% a mais do que o diesel. Isso se deve ao fato de que a maior parte das emissões de HC do biodiesel é produzida durante as operações agrícolas e de esmagamento de soja. Deste modo, é importante lembrar que as emissões de HC, assim como os demais poluentes do ar discutidos, têm efeitos locais, influenciando a qualidade do ar de determinada região. O fato de que no escape do biodiesel as emissões de HC são inferiores ao óleo diesel pode indicar que o biodiesel teria efeitos benéficos sobre a qualidade do ar urbano (embora os motores

diesel tenham níveis muito baixos de emissão de HC e as emissões de diesel HC não tenham sido uma preocupação no passado).

Metano ( $\text{CH}_4$ ) é um subconjunto especial de emissões de THC e um gás de efeito estufa. No biodiesel as emissões de  $\text{CH}_4$  ocorrem na produção de combustível e na etapa de transesterificação do óleo de soja. As emissões de  $\text{CH}_4$  no ciclo de vida são 2,57% menor para B100 e 0,51% para B20, em comparação com o diesel. Embora as reduções alcançadas com biodiesel sejam pequenas, elas podem ser significativas quando estimadas com base no “CO<sub>2</sub> equivalente” ou potencial de aquecimento global.

Talvez o próximo poluente que apresenta maior impacto à saúde humana e qualidade ambiental é o  $\text{NO}_x$ . O CO, THC e o  $\text{NO}_x$  são a chave para controlar o ozônio e poluição atmosférica nas áreas urbanas. O biodiesel reduz efetivamente emissões de escape de CO e THC. No entanto, B100 e B20 têm emissões de escape de  $\text{NO}_x$  superiores aos de diesel, 35% e 2,67%, respectivamente.

As emissões de  $\text{SO}_x$  em B100 e no B20 são inferiores às do diesel, 8,03% e 1,61%, respectivamente. Esta é uma redução relativamente baixa, dado que elimina completamente o  $\text{SO}_x$  proveniente do biodiesel no tubo de escape. A quantidade de  $\text{SO}_x$  nas emissões de um motor diesel é uma função do teor de enxofre no combustível. Com isto em mente, EPA regula o teor de enxofre no combustível diesel, ao invés de emissões de escape  $\text{SO}_x$ . Os mais recentes requisitos para o combustível diesel incluem 0,05% de enxofre em peso para o combustível rodoviário. O biodiesel pode eliminar as emissões de escape de  $\text{SO}_x$ , porque é livre de enxofre, mas estas emissões são compensadas quando analisado todo o ciclo de vida do combustível e as emissões de  $\text{SO}_x$  na produção de eletricidade utilizada na geração do biodiesel.

Em ambos os combustíveis as emissões de HCl e de HF são emitidas em níveis muito baixos. Estes gases foram analisados porque podem contribuir para a acidificação do meio ambiente. Ambos os poluentes ocorrem como resultado da combustão do carvão na geração de energia elétrica. Os níveis de HF são menores utilizando o biodiesel, pois há uma redução na quantidade de eletricidade consumida durante o ciclo de vida do combustível. Por outro lado, as emissões de HCl aumentam com a adição de biodiesel. O biodiesel tem fontes adicionais de HCl associadas à produção e uso de ácidos inorgânicos e bases em sua etapa de conversão. B100 reduz as emissões de HF em 15,57% e aumenta as de HCl em 13,54%.

Além de descrever as emissões geradas pelos combustíveis em seu ciclo de vida, a pesquisa também revela os valores das emissões de escape para o biodiesel e o diesel, como mostrado na Tab. (1).

**Tabela 1 - Efeito do Biodiesel sobre emissões de escape (g / bhp-h). (USDA e USDE, 1998)**

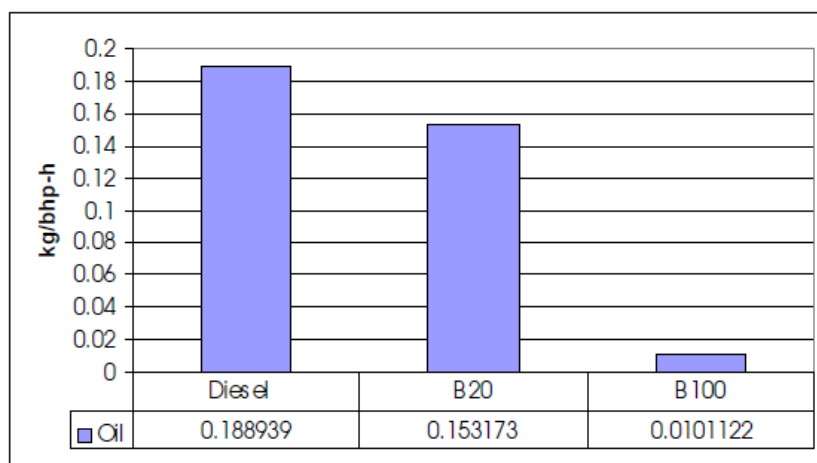
Emissões	Diesel	B20	B100
Dióxido de Carbono (Fóssil)	633.28	534.1	136.45
Dióxido de Carbono (Biomassa)	0	108.7	543.34
Monóxido de Carbono	1.2	1.089	0.6452
Hidrocarboneto	0.1	0.09265	0.06327
Material particulado (PM10)	0.08	0.0691	0.02554
Sulfeto de Óxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	0.17	0.14	0
Óxido nitroso (NO <sub>2</sub> )	4.8	4.885	5.227

De maneira geral, a utilização do biodiesel como combustível é vantajosa, baseando-se na quantidade de poluentes liberados, em relação a combustíveis derivados do petróleo. Entre as vantagens pode-se citar a condição de ser virtualmente livre de enxofre e de compostos aromáticos; médio teor de oxigênio; menor emissão de partículas, HC, CO e CO<sub>2</sub>; caráter não tóxico e biodegradável. O biodiesel estabelece ainda um ciclo fechado de carbono, ou seja, o CO<sub>2</sub> liberado quando o biodiesel é queimado na combustão do motor é absorvido na criação da planta para produção (BARBOSA, SILVA, *et al.*, 2007).

### **2.2.7 OUTRAS CONSIDERAÇÕES**

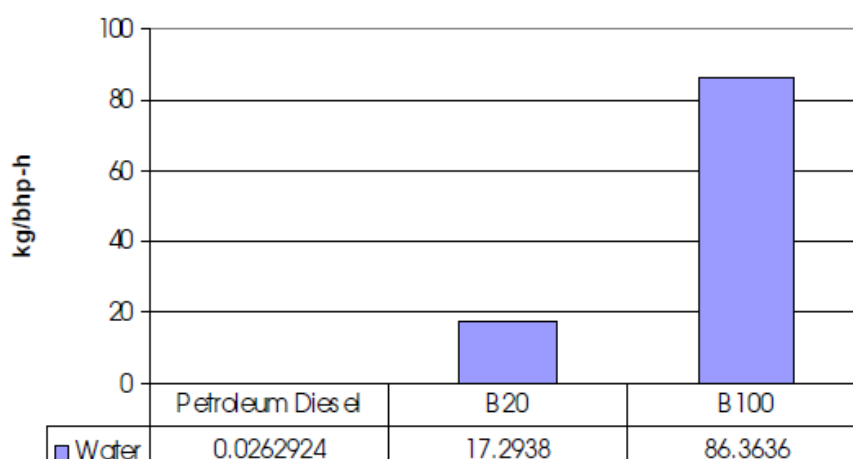
No estudo realizado em 1998, pelos departamentos USDA e USDE, o óleo diesel é comparado com o biodiesel B20 e B100, levando em consideração o consumo de água e o consumo de petróleo, desde a produção até a queima pelo motor.

Quanto ao consumo de petróleo o biodiesel B100 tem efeitos de redução de 95% e o B20 proporciona uma redução proporcional de 19%, como ilustrado na Fig. (9).



**Figura 9 - Consumo de Petróleo do óleo Diesel, B20, B100 (USDA e USDE, 1998)**

O ciclo de vida do biodiesel usa muito mais água do que o ciclo de vida do óleo diesel. O uso da água no ciclo de vida do biodiesel é de três ordens de grandeza a mais quando comparado ao óleo diesel, como ilustra a Fig. (10). Para se produzir a quantidade de óleo diesel necessária para gerar a energia para um motor de 1 HP funcionar durante uma hora, é gasto menos de um litro de água. Para a produção dessa mesma quantidade de energia a partir do B20, o consumo é de 18 litros de água e, para produzir o B100, são consumidos mais de 85 litros de água (USDA e USDE, 1998).



**Figura 10 - Consumo de água do óleo diesel, B20, B100 (USDA e USDE, 1998)**

Deve-se lembrar que o objetivo do uso de bicomcombustíveis é a melhora na qualidade de vida e na preservação do meio ambiente. No entanto, em algumas partes do mundo, grandes áreas de vegetação natural e florestas foram derrubadas e queimadas para plantar soja e palma para a produção do biodiesel. Os impactos ambientais negativos dessas atividades

podem ser maiores do que os benefícios potenciais do uso do biodiesel produzido a partir da plantas cultivadas para fazer biodiesel (EIA, 2011).

## 2.3 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Dinamômetro é o equipamento capaz de medir a potência, trabalho executado na unidade de tempo, de um motor em suas diversas condições de funcionamento.

O dispositivo mais antigo, não muito utilizado nos dias de hoje, para medir a potência do motor, é constituído por um volante circundado por uma cinta conectada a um braço cuja extremidade se apoia sobre a plataforma de uma balança. O volante, acionado pelo motor, tem o seu movimento restringido pela pressão aplicada à cinta, que transmite o esforço ao braço apoiado sobre a balança. A partir das leituras da balança, calcula-se o esforço despendido pelo motor. Esse dispositivo é conhecido como Freio de Prony, que pode ser ilustrado pela Fig. (11).

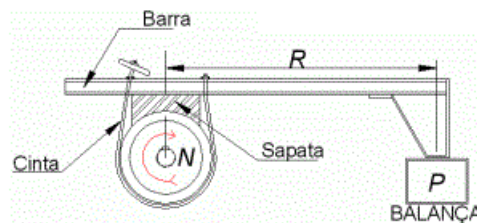


Figura 11 - Ilustração de um Freio de Prony

O calculo da potência é realizado considerando:

- Rotação do motor =  $N$  (em rpm);
- Comprimento do braço =  $R$  (em m ou ft);
- Leitura da balança =  $P$  (em lb. ou Kg).

Com os elementos acima, sabendo-se que a periferia do volante percorre, no intervalo de uma rotação, a distância de  $2\pi r$  contra a força de atrito  $f$ , aplicada pela cinta, em cada rotação, tem-se:

$$\text{Trabalho} = 2\pi r f \quad (1)$$

O conjugado resistente ao atrito é formado pelo produto da leitura  $P$  da balança pelo valor do comprimento do braço de alavanca  $R$  e será exatamente igual ao produto  $r$  vezes  $f$ , conjugado que tende a mover o braço. Logo:

$$r f = P R \text{ e, em uma rotação, } \textit{Trabalho} = 2 \pi P R \quad (2)$$

Se o motor funcionar a  $N$  rpm, o trabalho por minuto será dado por:

$$\tau = 2 \pi P R N \quad (3)$$

A expressão acima define a potência desenvolvida pelo motor, que pode ser expressa em **HP** (Horsepower) ou em **CV** (Cavalo-Vapor), dependendo das unidades empregadas. Assim:

$$\text{HP} = (2 \pi P R N) / 33.000 == \text{HP} = (P R N) / 5252 \quad (4)$$

Para  $P$  em libras,  $R$  em pés e  $N$  em rpm, ou:

$$\text{CV} = (2 \pi P R N) / 4.500 == \text{CV} = (P R N) / 716,2 \quad (5)$$

Para  $P$  em Kg,  $R$  em metros e  $N$  em rpm.

As constantes 4.500 e 33.000 são resultantes das definições de CV e HP, que são, respectivamente, a potência necessária para elevar a altura de um metro, em um segundo, uma carga de 75 quilogramas, o que corresponde a  $75 \times 60 = 4500$  para transformação em minuto. A potência necessária para elevar a altura de um pé, em um segundo, uma carga de 550 libras, correspondente a  $550 \times 60 = 33000$  para transformar em minuto.

O Freio de Prony apresenta vários inconvenientes operacionais, destacando-se o fato de manter a carga constante independente da rotação empregada. Então, se a rotação cai, em virtude do motor não suportá-la, a rotação irá diminuir até a parada total do mesmo. Consequentemente, essas máquinas vêm sendo substituídas por dinamômetros mais versáteis, com predominância dos dinamômetros hidráulicos que variam a carga aplicada em razão diretamente proporcional ao cubo da rotação por minuto. Se a rotação cair, a carga imposta pelo dinamômetro diminuirá, dando tempo ao operador para reajustar a carga e corrigir a velocidade para o valor desejado. Nos dinamômetros hidráulicos o freio é exercido pela ação de um rotor que, pressionando água contra as aletas fixas na carcaça, produz o mesmo efeito físico que no Freio de Prony. O braço e a balança, embora possam ser empregados neste tipo

de equipamento, foram substituídos por uma Célula de Carga. As Células de Carga, por vezes, são constituídas de um cristal de quartzo, cujo efeito piezelétrico, resultante da compressão exercida pela extremidade do braço, é transformado em leitura para um instrumento. Em alguns casos, em vez de cristal de quartzo, utiliza-se uma câmara de pressão acoplada a um transdutor que executa a mesma função.



## 3 METODOLOGIA E APARATO EXPERIMENTAL

### 3.1 DESCRIÇÃO DA BANCADA EXPERIMENTAL

Para a realização dos testes de potência, emissões e vazão de combustível, foi necessário um aparato experimental contendo basicamente um motor de ciclo diesel, um dinamômetro e um analisador de gases de escape, conforme ilustra a Fig. (12).

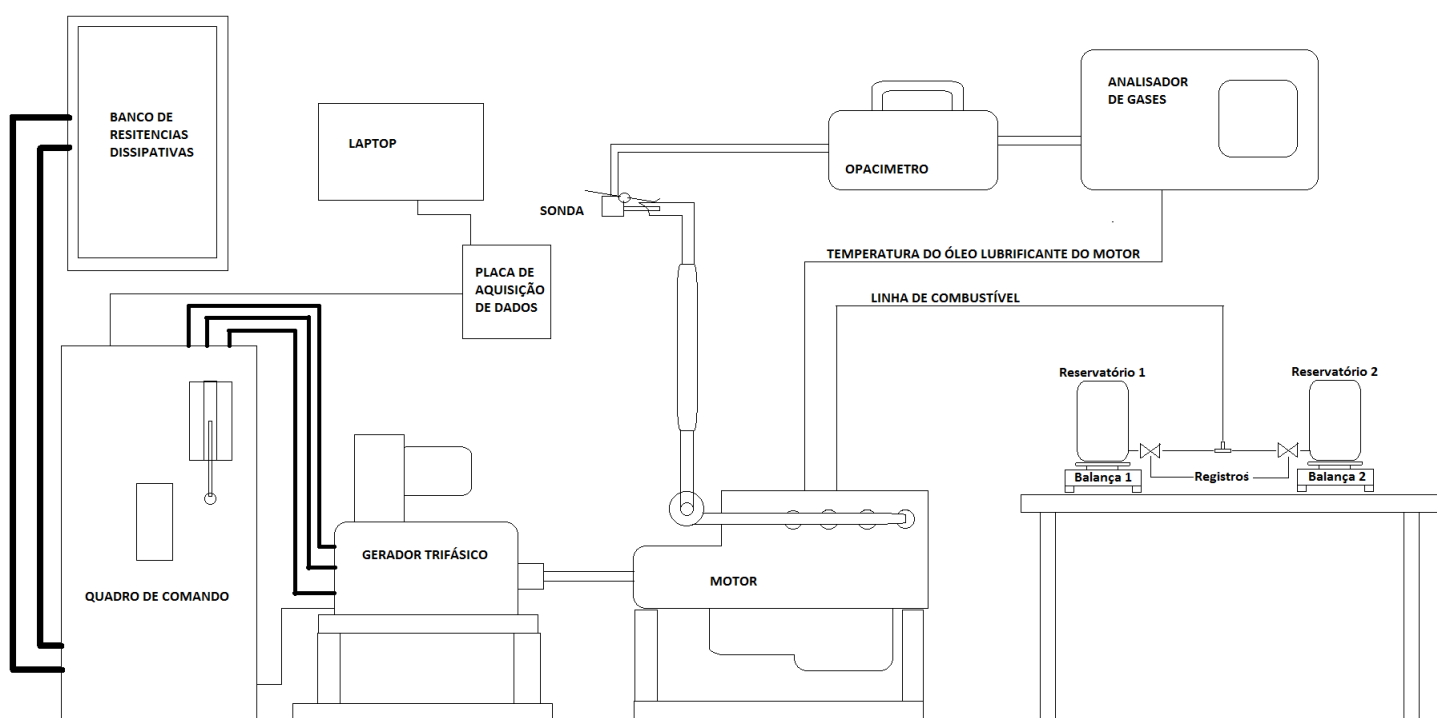


Figura 12 - Modelo esquemático da bancada experimental

#### 3.1.1 CARACTERÍSTICAS DO MOTOR UTILIZADO

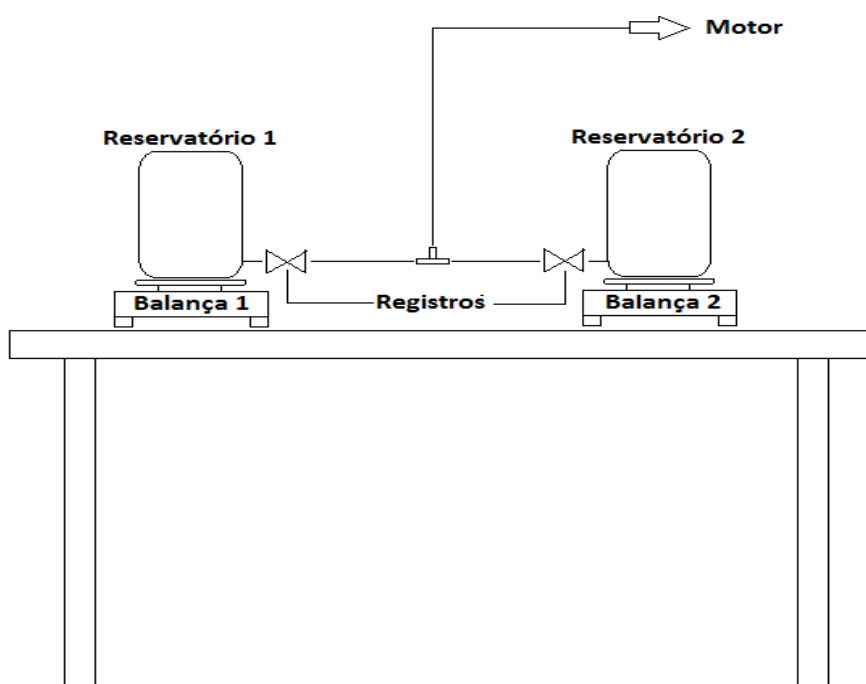
##### a. DESCRIÇÃO DO MOTOR

- Fabricante: Massey Perkins S.A.;
- Tipo: Q20B4.236 Diesel;
- Ciclo: 4 Tempos;
- Diâmetro: 0,09843 m;
- Curso: 0,127 m;
- Número de cilindros: Quatro;

- Disposição dos cilindros: Linha;
- Sequencia de Ignição: 1-3-4-2;
- Volume deslocado do motor: 3870 cm<sup>3</sup>;
- Taxa de compressão: 16:1;
- Sistema de arrefecimento - Líquido (água sem aditivos);
- Temperatura máxima na saída da água 80 °C;
- Com sobrealimentador, turbo compressor com A/R do caracol frio de 0,42 e A/R do caracol quente de 0,63, Fabricante: Garret.

### **b.SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DO COMBUSTÍVEL**

O sistema de alimentação do motor é constituído por dois reservatórios de 5 litros cada dispostos lado a lado em cima de duas balanças de precisão. Em cada saída de combustível foi instalado um registro de esfera, a fim de permitir a escolha do combustível a ser testado e, após o registro, ambas as linhas de combustível se unem através de uma conexão “T”, tornando-se uma única saída em direção ao motor. Tal sistema está ilustrado na Fig. (13).



**Figura 13 - Modelo esquemático do sistema de combustível**

### **c. SINCRONISMO DE VÁLVULAS**

Ângulos de abertura e fechamento em relação aos pontos mortos:

- Abertura da válvula de admissão referência PMS: -13°;
- Fechamento da válvula de admissão referência PMI: 43°;
- Abertura da válvula de descarga referência PMI: -46°;
- Fechamento da válvula de descarga referência PMS: 10°.

### **d. SISTEMA DE ESCAPAMENTO**

Descrição do coletor de escapamento: sistema original do motor, tipo 4 em 1.

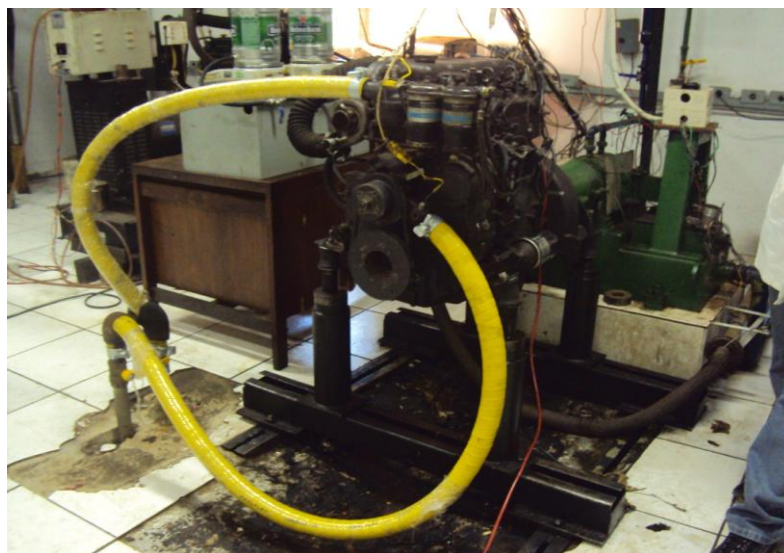
Tubulação de escape com 1,8 metros de comprimento e 2,5 polegadas de diâmetro sem qualquer silenciador, joelhos ou estrangulamentos, sendo conectado à saída da turbina por meio de uma *mufla* flexível.

### **e. SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO**

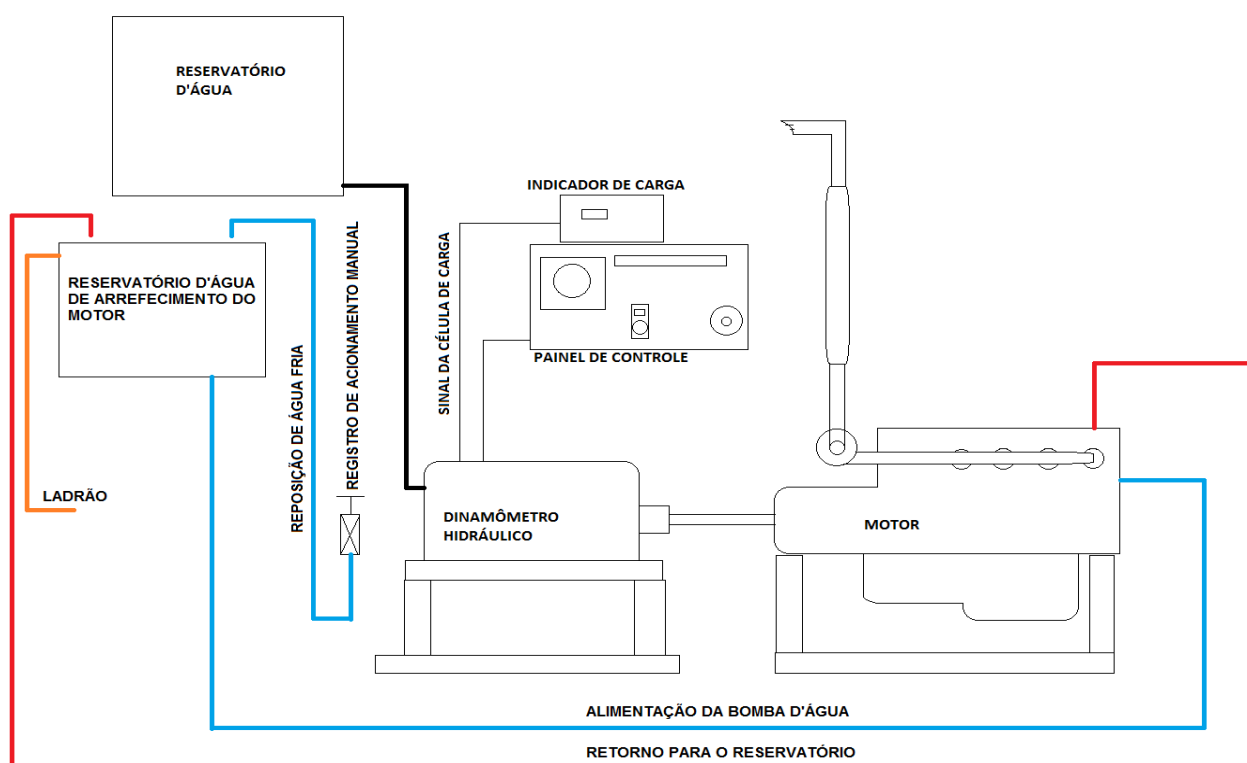
Sistema de lubrificação original onde o fluido de lubrificação sobe sob a ação de uma bomba de óleo e desce sob a ação da gravidade. O reservatório do lubrificante fica na parte inferior do motor, com circulação por bomba em separado do combustível.

### **f. SISTEMA DE ARREFECIMENTO**

O sistema de arrefecimento do motor consiste em um reservatório de 40 litros fixado fora da sala, onde se encontra o dinamômetro, e segue via tubulação de aço subterrânea por dois dutos de 1 ½” de diâmetro de aço galvanizado até a posição de montagem do motor ainda no piso. Deste ponto seguem duas mangueiras flexíveis até o motor Fig.(14). Além disso, foi instalada uma alimentação de água com regulagem manual a fim de impedir o aumento da temperatura até seu ponto de ebulição. A Figura (15) ilustra o sistema em questão.



**Figura 14 - Mangueiras flexíveis do sistema de arrefecimento**



**Figura 15 - Modelo esquemático do sistema de arrefecimento**

### 3.1.2 MANUTENÇÃO DO MOTOR ANTES DOS TESTES

O motor da bancada de testes ficou sem entrar em funcionamento por um longo período e foram tomadas algumas providências para uma manutenção inicial do motor:

- Substituição dos filtros de combustível (Fig. 16);
- Conferência do aperto de todas as abraçadeiras da mangueira de admissão, do suspiro de óleo e do sistema de combustível;
- Verificação da vedação do coletor de admissão;
- Verificação do aperto dos parafusos do sistema de escape a fim de evitar vazamentos dos gases;
- Verificação do nível de óleo lubrificante do motor, pois o óleo e o filtro de óleo são novos;
- Limpeza dos termopares do sistema de arrefecimento;
- Substituição dos selos de metal do bloco do motor que apresentavam vazamento de água do sistema de arrefecimento;
- Manutenção dos bicos injetores que se encontravam trincados;
- Substituição do conduite de injeção do primeiro cilindro;
- Substituição do tubo de exaustão do conjunto de injetores;
- Revisão completa do conjunto turbo compressor.



**Figura 16 - Filtros de combustível substituídos**

### 3.1.3 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

#### a. DINAMÔMETRO CAMPUS GAMA

Para a validação do biodiesel produzido na planta do Gama seria utilizado um dinamômetro elétrico da marca Dynamite modelo #014 200 1K, com capacidade para 200 HP. É constituído, basicamente, por um gerador elétrico trifásico de corrente alternada conectado a um quadro de comando e este a um quadro de resistências dissipativas, como ilustra a Fig. (17).



**Figura 17 - Conjunto de partes do dinamômetro elétrico (DYNO-MITE)**

Seu princípio de funcionamento consiste em converter a potência do motor de combustão interna em energia elétrica por meio do gerador trifásico, de onde sai uma tensão trifásica, que é convertida em monofásica e enviada ao quadro de resistências dissipativas que serve como freio ao gerador e conseqüentemente ao motor, podendo “forçá-lo”, medindo assim a sua capacidade para uma determinada rotação.

O gerador trifásico de corrente contínua funciona acoplado ao motor por um eixo cardã e gera uma tensão de 460 V e uma corrente de até 325 A a 3600 rpm e trabalha na faixa de rotação de 0 a 7200 rpm. A Figura (18) mostra um exemplo de curva característica para esse tipo de gerador. Desse gerador saem três cabos de 300 mm<sup>2</sup> cada que são ligados ao conversor de tensão que se encontra dentro do quadro de comando, de onde a tensão sai monofásica com corrente contínua, que, por fim, se conecta ao dispositivo de freio. O

dispositivo determina a “carga” a ser imposta ao conjunto motor-gerador, usando para tal, o banco de resistências dissipativas.

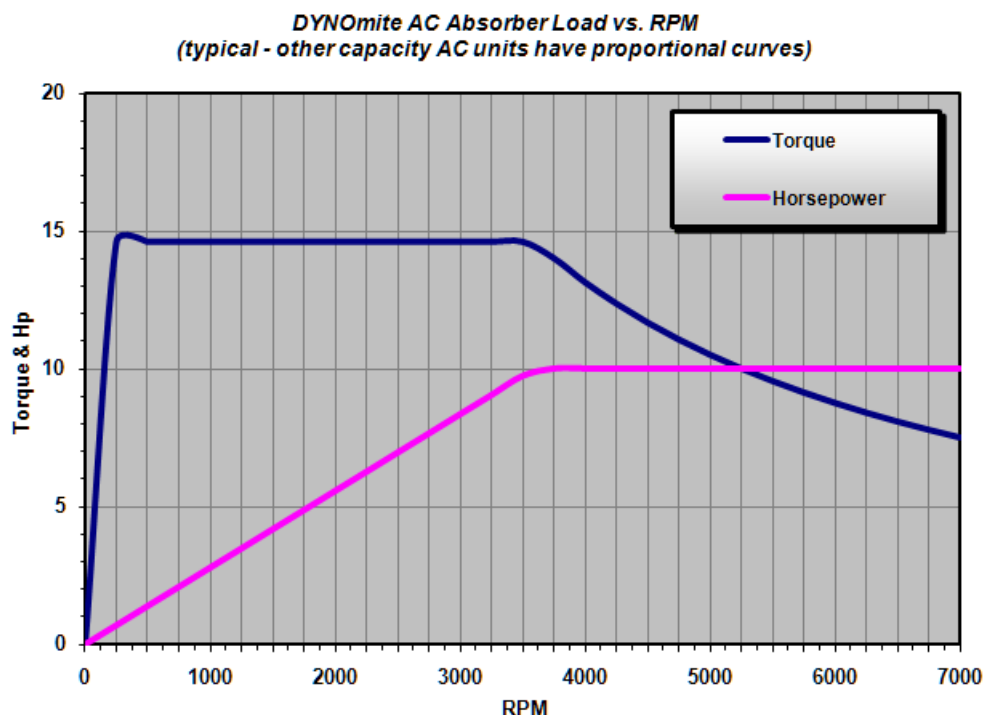
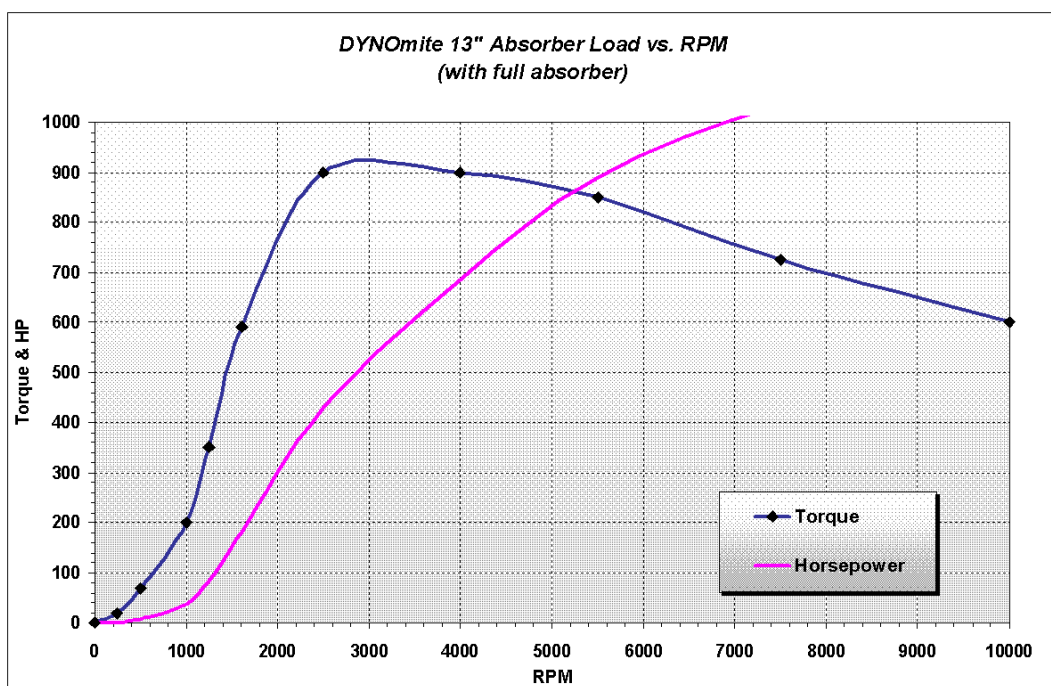


Figura 18 - Curva típica de um gerador de 10 HP (DYNO-MITE)

Após passar pelo transformador trifásico do quadro de comando, a tensão monofásica segue até um controlador digital, que também fica dentro do quadro de comando. Esse controlador tem a função de manter o motor em uma rotação pré-determinada para possibilitar a medição do torque e consequentemente determinar a potência nessa faixa, de forma a viabilizar o levantamento das curvas de torque e potência do motor. Os dados de torque e potência são coletados por uma placa de aquisição de dados, conectada diretamente ao controlador, ao sensor de temperatura-pressão-umidade relativa e também a um laptop, onde está instalado o programa próprio da *Dynomite dynamometers* denominado DYNO-MAX 2000 que faz a interface entre a placa de aquisição de dados e o usuário. São mostrados na tela os dados de torque e potência, entre outros, possibilitando a visualização dos dados e o controle do teste, que pode ser manual ou automático. Na forma manual, o programa permite que o usuário escolha as rotações em que o torque e a potência serão medidos e a transição de uma para a outra só é feita com o comando do usuário. Já no modo automático, o programa faz todas as medições de forma automática mostrando apenas as curvas de torque e potência após o teste, cabendo ao usuário apenas ordenar o início da coleta dos dados. A Figura (19) ilustra uma curva típica traçada automaticamente pelo software DYNO-MAX 2000.



**Figura 19 - Exemplo de curva traçada pelo software DYNO-MAX 2000 (DYNO-MITE)**

Além disso, o quadro de comando se conecta ao gerador por um cabo de 16 pinos, responsável por enviar dados de rotação, temperatura do gerador, acionamento do sistema de refrigeração do gerador, sistema de segurança contra danos no gerador, entre outros.

## **b.DINAMÔMETRO CAMPUS DARCY RIBEIRO**

A montagem da bancada experimental no Galpão da FGA fazia parte do projeto, pois deixaria como legado uma bancada pronta para os futuros estudos com os biocombustíveis produzidos na planta da FGA.

Apesar de inúmeras horas dedicadas a esse propósito, não foi possível sua conclusão devido a vários motivos, dentre eles, a falta dos manuais de instalação do dinamômetro que é importado; a dispersão das partes comuns ao equipamento visto que uma parte estava no galpão e duas outras estavam no fórum. Como estas pesavam mais de 500 kg cada, seu traslado até o galpão apresentou muita dificuldade e demorou várias semanas. O dinamômetro da FGA nada mais é do que um gerador elétrico, logo, faz-se necessário um aterramento, que deve ser aprovado pela prefeitura da Universidade de Brasília.

Todas as dificuldades acima citadas, entre outras, foram levadas ao conhecimento do orientador desse projeto, Professor Carlos Alberto Gurgel Veras, que sugeriu a montagem de uma bancada provisória no dinamômetro do campus Darcy Ribeiro, que fica no Laboratório

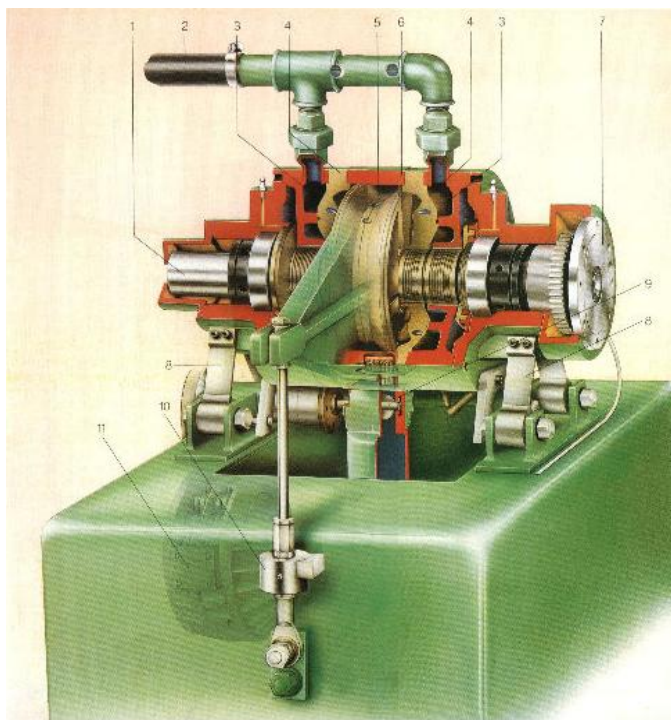


de Termociência e Metrologia Dinâmica – LTMD, localizado no Bloco G da Faculdade de Tecnologia, com o intuito de levantar os resultados do projeto até que os problemas da bancada do FGA seja resolvidos.

O motor utilizado para os testes é o mesmo descrito anteriormente, assim como o sistema de alimentação de combustível. Portanto, falta descrever apenas a bancada dinamométrica do LTMD e seu princípio de funcionamento.

A bancada dinamométrica do LTMD dispõe de um dinamômetro hidráulico SCHENCK, modelo D210-1e (210 kW, 600 N.m, 10000 rpm), como mostrado na Fig. (20), com toda instrumentação necessária para o monitoramento das condições de funcionamento do motor. Estes instrumentos são:

- Bureta calibrada para determinação do volume de combustível consumido;
- Indicador de carga em kP;
- Indicadores analógicos de temperatura: indicam a temperatura de entrada e saída da água de arrefecimento do motor;
- Célula de carga que indica o torque disponível no eixo cardã.



**Figura 20 - Dinamômetro hidráulico SCHENCK**

A Figura (21) mostra o modelo esquemático da bancada experimental Campus Darcy Ribeiro.

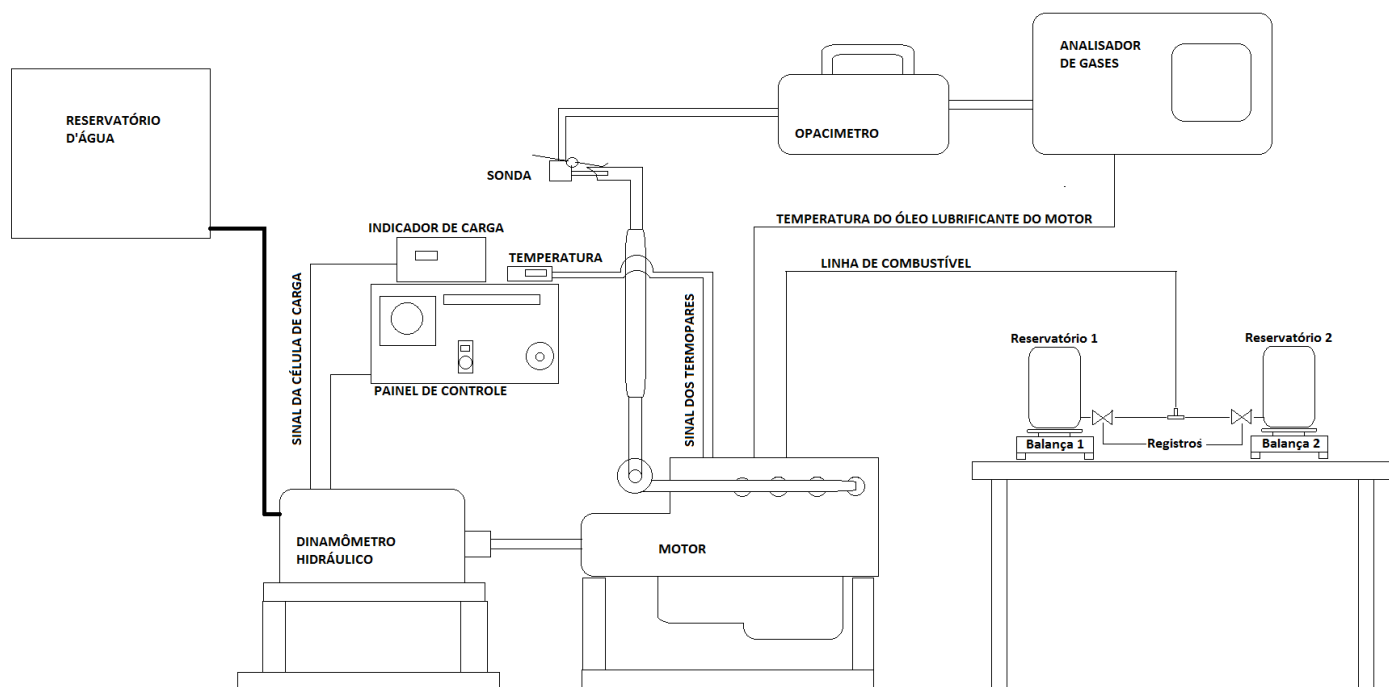


Figura 21 - Modelo esquemático da bancada experimental Campus Darcy Ribeiro

### 3.1.4 MANUTENÇÃO DA BANCADA DINAMOMÉTRICA DO LABORATÓRIO DE TERMOCIÊNCIA E METROLOGIA DINÂMICA – LTMD

O dinamômetro em questão possui vários anos de uso com pouca manutenção sendo necessários certos ajustes para seu bom funcionamento. Entre eles podemos citar:

- Substituição de itens eletrônicos defeituosos;
- Substituição dos rolamentos do eixo da borboleta;
- Manutenção do eixo e da borboleta que apresentavam alto grau de corrosão.

Além disso, o sistema de arrefecimento do motor na bancada do LTMD, detalhado no item 3.1.1-f, estava desativado e foi necessária uma revisão completa do sistema conforme listado abaixo:

- Desobstrução e limpeza da tubulação de aço subterrânea;
- Substituição do reservatório externo;
- Substituição do suporte do reservatório externo;
- Instalação do sistema de renovação da água do reservatório externo;

- Aquisição e instalação de mangueiras novas para a ligação da tubulação de aço ao motor;
- Limpeza e lubrificação dos mancais da aleta de restrição na saída de água do dinamômetro.

### 3.1.5 SISTEMA DE ANÁLISE DE GASES

Para a medição de gases, foi utilizado o analisador de gases e de opacidade para motores ciclo Otto e Diesel DiCom 4000. O analisador realiza leituras de CO, CO<sub>2</sub>, HC, CO corrigido e O<sub>2</sub>, opacidade, temperatura do óleo do motor e o valor de lambda. Possui entrada para adição de um medidor de NO<sub>x</sub>. Possui mostrador de cristal líquido e a opção de imprimir os resultados encontrados com a impressora integrada. (PANAMBRA)

As Figuras (22) e (23) mostram o aparelho utilizado.



Figura 22 e Figura 23 - Analisador de gases DiCom 4000

## 3.2 METODOLOGIA DE ENSAIO

Para determinar a eficiência do biodiesel e das misturas diesel-biodiesel fez-se a medição do torque, da potência, do consumo e das emissões do motor com a substituição do combustível, comparando esses resultados com os obtidos com o combustível padrão, que no caso desse estudo é o diesel comercial.

### 3.2.1 ENSAIO NO DINAMÔMETRO

Os testes com o dinamômetro medem o torque máximo para cada rotação. A partir deste, é possível calcular sua potência em cada rotação de acordo com as Eq.(6).

$$\text{Pot}(\text{CV}) = \text{Torque} * \text{rotação}/1000 \quad (6)$$

A potência deve ser corrigida, segundo a norma NBR, para considerar a menor massa específica de oxidante em função da altitude de Brasília e seu valor foi estimado em 1,17, como apresentado na Eq.(7).

$$\text{Pot}(\text{CV\_corrigida}) = \text{Pot}(\text{CV}) * 1.17 \quad (7)$$

Para tanto, primeiro fez-se o teste com plena carga utilizando o diesel comercial a fim de levantar a curva de torque. O procedimento do teste foi o seguinte:

1. Abastecimento do reservatório destinado ao diesel, que já se encontrava posicionado na balança de precisão;
2. Abertura do registro de alimentação para o motor, deixando o registro do outro reservatório na posição fechada;
3. Partida no motor para pré-aquecimento até a temperatura da água de arrefecimento alcançar 60 °C;
4. Após a água atingir a temperatura de 60 °C, completo-se o nível de combustível do reservatório;
5. Inicia-se o teste, a plena carga, selecionando-se a rotação de 1650 rpm, tomando nota do valor da carga com o acelerador acionado totalmente, repetindo esse procedimento para as rotações de 2000, 2500 e 2800 rpm;

Com dados de plena carga, fez-se o cálculo da carga parcial de 75% da plena. Esta carga foi escolhida por refletir as condições normais de trabalho de um motor de automóvel.

Utilizando os valores calculados para 75% da carga realizaram-se as medições de consumo de combustível e emissões de gases de escape para cada rotação (1650, 2000, 2500 e 2800 rpm). Os testes foram feitos pelo menos 4 vezes, a fim de diminuir o desvio padrão da coleta.

Feito isso, têm-se os dados de referência para efeito de comparação com os resultados obtidos com o ensaio de biodiesel e das misturas, que foram feitos seguindo os mesmos passos. Para manter a qualidade dos resultados tentou-se manter parâmetros de umidade relativa do ar e de temperatura ambiente constantes.

Antes de cada teste os reservatórios dos filtros foram drenados e o motor foi mantido em funcionamento com o combustível de teste por pelo menos 5 minutos a 2000 rpm, para garantir que todo combustível do motor provém da nova mistura de combustível.

### **3.2.2 MEDIÇÃO DA VAZÃO DE COMBUSTÍVEL**

Para efetuar a medição da vazão mássica de combustível fez-se uma bancada, mostrada anteriormente no item 3.1.1-b, que consiste em dois reservatórios posicionados em cima de balanças de precisão ligados a uma união tipo “T” por uma linha de combustível até a bomba de transferência do motor.

O procedimento é medir diretamente a variação da massa de combustível em um intervalo de tempo de trinta segundos, para cada rotação, por pelo menos quatro vezes.

Com os resultados dessas medições calcula-se a média e o desvio padrão do consumo de combustível para cada rotação.

O consumo específico de combustível por unidade de energia (kg/kWh) foi calculado dividindo-se a vazão mássica de combustível pela potência calculada para cada rotação.

### **3.2.3 MEDIÇÃO DAS EMISSÕES DE GASES DE ESCAPE**

Para a medição dos gases de escape conectou-se a sonda do analisador de gases na extremidade de saída do escapamento, tomando o cuidado de limpar as mangueiras das sondas para retirar água e outros resíduos que se acumulam durante o procedimento de teste. Devido a problemas com o aparelho não foi possível medir a opacidade do motor.

No momento em que se liga o analisador de gases deve-se aguardar o procedimento padrão de inicialização do equipamento, selecionar a opção diesel, testar a estanqueidade da tubulação e aguardar até que os dados de emissões sejam mostrados na tela.

A coleta dos valores foi feita um pouco após o início da medição da vazão de combustível, de modo aos valores das emissões estabilizarem. Apertando a opção imprimir, os valores das emissões paralisam na tela e o resultado é registrado na impressora própria do equipamento.

Assim como nos demais procedimentos anteriormente citados, a coleta dos dados foi feita para cada rotação (1650, 2000, 2500, 2800 rpm), por pelo menos quatro vezes determinando a média e o desvio padrão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 DIESEL COMERCIAL

O diesel comercial brasileiro já possui 5% de biodiesel em sua composição, porém este biodiesel não é parte do nosso estudo. Sendo assim, o diesel vendido na bomba de combustível foi denominado diesel comercial (B0) e as misturas apresentadas nesse trabalho representarão a quantidade do biodiesel em estudo adicionado no diesel comercial, sendo denominadas pela letra B seguida da porcentagem de biodiesel adicionado. Por exemplo, a mistura B15 consiste em 85% de diesel comercial e 15% do biodiesel em estudo.

Apesar de já terem sido levantados os dados de torque e potência do diesel comercial (B0) na primeira etapa desse projeto, fez-se necessária a realização de novos ensaios a fim de manter os parâmetros climáticos aproximadamente iguais, para que a comparação entre os resultados com as misturas de biodiesel-diesel e o diesel comercial refletisse a discrepância real de rendimento.

#### 4.1.1 TORQUE

A primeira etapa foi o levantamento da curva de torque a plena carga e com ela foram calculadas as cargas parciais a 75% da plena. Para facilitar a análise dos dados tanto a plena quanto a 75% da carga foram convertidas para Kgf.m, por se tratar de uma unidade mais usual facilitando a visualização da magnitude dessas cargas, como pode ser visto na Tab.(2).

**Tabela 2 - Torque utilizando o diesel comercial**

DIESEL COMERCIAL (B0)				
Rotação (rpm)	Carga (kP)		Torque (Kgf.m)	Torque (Kgf.m)
	Plena	75%	Plena	75%
1650	31,50	23,63	22,62	16,96
2000	29,00	21,75	20,82	15,62
2500	25,00	18,75	17,95	13,46
2800	20,70	15,53	14,86	11,15

### 4.1.2 POTÊNCIA

Após o levantamento das curvas de torque, foi possível realizar os cálculos das potências, tanto para a plena quanto para a carga parcial de 75%. Foi aplicado um fator de correção para a potência devido a altitude, gerando uma potência corrigida. Esse fator é estimado em 1,17 para Brasília conforme a Eq. (7).

Para uma melhor visualização da magnitude das potências, fez-se a conversão de cavalo vapor (CV) para quilowatts (kW) conforme a Tab.(3) que mostra as potências corrigidas para plena e 75% da carga.

Tabela 3- Potência utilizando o diesel comercial

DIESEL COMERCIAL (B0)				
Rotação (rpm)	Potência Corrigida (CV)	Potência Corrigida (KW)	Potência Corrigida (CV)	Potência Corrigida (KW)
Carga	Plena	Plena	75%	75%
1650	60,81	44,73	45,61	33,54
2000	67,86	49,91	50,90	37,43
2500	73,13	53,78	54,84	40,34
2800	67,81	49,88	50,86	37,41

### 4.1.3 CONSUMO

A Tabela (4) apresenta o consumo específico de diesel comercial e o consumo médio, em kg por hora, com seu respectivo desvio padrão, para as diversas rotações, a 75% da carga.

**Tabela 4- Consumo utilizando o diesel comercial**

DIESEL COMERCIAL (B0)					
Consumo					
Rotação (rpm)	Média (kg/h)	Desvio Padrão (g/30 s)	Desvio Padrão (kg/h)	Litros/h	Específico (g/kWh)
1650	7,91	2,62	0,31	9,24	235,66
2000	9,07	1,23	0,15	10,61	242,35
2500	11,67	0,98	0,12	13,64	289,22
2800	12,46	2,59	0,31	14,57	333,17

#### 4.1.4 EMISSÕES

A medição das emissões de gases no tubo de escape é parâmetro muito importante para avaliar a qualidade do combustível. Para esse trabalho fez-se a medição dos níveis de monóxido de carbono (CO), oxigênio (O<sub>2</sub>) dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e hidrocarbonetos (HC), porém não foi possível realizar a medição de material particulado por falha do equipamento opacímetro que realiza tal medição. A Tabela (5) mostra os resultados das emissões medidas de CO, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, em porcentagem de volume, e de HC, em ppm, com o diesel comercial (B0), medidos na saída do cano de escape, com o motor atuando no regime de 75% de carga.

**Tabela 5 - Emissões utilizando o diesel comercial**

DIESEL COMERCIAL (B0)				
ROTAÇÃO\GASES	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm)	O2 (%vol)
1650	0,05	8,15	28,00	9,20
2000	0,06	8,40	28,50	13,45
2500	0,06	9,10	35,50	12,00
2800	0,06	8,60	33,50	12,15



## 4.2 MISTURA B5

### 4.2.1 TORQUE

Fez-se o levantamento da curva de torque a plena carga e, com ela, foram calculadas as cargas parciais a 75% da plena carga para a mistura B5. Para facilitar a análise dos dados tanto a plena quanto a 75% da carga foram convertidas para kgf.m, por se tratar de uma unidade mais usual facilitando a visualização da magnitude dessas cargas, como pode ser visto na Tab. (6).

**Tabela 6 - Torque utilizando a mistura B5**

B5				
Rotação (rpm)	Carga (kP)		Torque (Kgf.m)	Torque (Kgf.m)
	Plena	75%	Plena	75%
1650	31,20	23,40	22,40	16,80
2000	28,40	21,30	20,39	15,29
2500	24,40	18,30	17,52	13,14
2800	19,97	14,98	14,34	10,75

### 4.2.2 POTÊNCIA

Após o levantamento das curvas de torque, foi possível realizar os cálculos das potências, tanto para a plena quanto para a carga parcial de 75%. Foi aplicado um fator de correção para a potência devido a altitude conforme a Eq. (7).

Para uma melhor visualização da magnitude das potências, foi feita a conversão de cavalo vapor (CV) para quilowatts (kW) conforme a Tab. (7) que mostra as potências corrigidas para plena e 75% da carga para a mistura B5.

**Tabela 7 - Potência utilizando a mistura B5**

B5				
Rotação (rpm)	Potência Corrigida (CV)	Potência Corrigida (KW)	Potência Corrigida (CV)	Potência Corrigida (KW)
	Plena	Plena	75%	75%
1650	60,23	44,30	45,17	33,23
2000	66,46	48,88	49,84	36,66
2500	71,37	52,49	53,53	39,37
2800	65,42	48,12	49,07	36,09

#### 4.2.3 CONSUMO

A Tabela (8) apresenta o consumo específico da mistura B5 e o consumo médio, em kg por hora, com seu respectivo desvio padrão, para as diversas rotações, a 75% da carga.

**Tabela 8 - Consumo utilizando a mistura B5**

B5				
Consumo				
Rotação (rpm)	Média (kg/h)	Desvio Padrão (kg/h)	Litros/h	Espécífico (g/kWh)
1650	7,94	0,01	9,28	239,10
2000	9,09	0,34	10,62	248,00
2500	11,83	0,03	13,81	300,37
2800	12,53	0,94	14,64	347,33

#### 4.2.4 EMISSÕES

A medição das emissões de gases no tubo de escape é parâmetro muito importante para avaliar a qualidade do combustível. A Tabela (9) mostra os resultados das emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>), em porcentagem de volume, e de hidrocarbonetos (HC), em ppm, medidas com a mistura B5 na saída do cano de escape, com o motor atuando no regime de 75% de carga.

**Tabela 9 - Emissões utilizando a mistura B5**

B5				
ROTAÇÃO\GASES	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm)	O2 (%vol)
1650	0,05	8,00	27,5	9,15
2000	0,05	8,00	26,0	9,25
2500	0,05	7,95	27,0	9,4
2800	0,055	7,30	29,0	9,15

#### 4.3 MISTURA B15

##### 4.3.1 TORQUE

Fez-se o levantamento da curva de torque a plena carga e com ela foram calculadas as cargas parciais a 75% da plena carga para a mistura B15. Para facilitar a análise dos dados tanto a plena quanto a 75% da carga foram convertidas para kgf.m, por se tratar de uma unidade mais usual facilitando visualização da magnitude dessas cargas, como pode ser visto na Tab. (10).

**Tabela 10 - Torque utilizando a mistura B15**

B15				
Rotação (rpm)	Carga (kP)		Torque (Kgf.m)	Torque (Kgf.m)
	Plena	75%	Plena	75%
1650	31,10	23,33	22,33	16,75
2000	28,40	21,30	20,39	15,29
2500	24,30	18,23	17,45	13,09
2800	20,00	15,00	14,36	10,77

#### 4.3.2 POTÊNCIA

Após o levantamento das curvas de torque foi possível realizar os cálculos das potências, tanto para a plena quanto para a carga parcial de 75%. Foi aplicado um fator de correção para a potência conforme a Eq. (7).

Para uma melhor visualização da magnitude das potências, fez-se a conversão de cavalo vapor (CV) para quilowatts (kW) conforme a Tab. (11) que mostra as potências corrigidas para plena e 75% da carga para a mistura B15.

**Tabela 11 - Potência utilizando a mistura B15**

B15				
Rotação (rpm)	Potência Corrigida (CV)	Potência Corrigida (KW)	Potência Corrigida (CV)	Potência Corrigida (KW)
	Plena	Plena	75%	75%
1650	60,04	44,16	45,03	33,12
2000	66,46	48,88	49,84	36,66
2500	71,08	52,28	53,31	39,21
2800	65,52	48,19	49,14	36,14

### 4.3.3 CONSUMO

A Tabela (12) apresenta o consumo específico da mistura B15 e o consumo médio, em kg por hora, com seu respectivo desvio padrão, para as diversas rotações, a 75% da carga.

**Tabela 12 - Consumo utilizando a mistura B15**

B15				
Consumo				
Rotação (rpm)	Média (kg/h)	Desvio Padrão (kg/h)	Litros/h	Específico (g/kWh)
1650	7,97	0,31	9,30	240,70
2000	9,14	0,16	10,66	249,37
2500	11,78	0,29	13,74	300,41
2800	12,61	0,06	14,71	348,99

### 4.3.4 EMISSÕES

A Tabela (13) mostra os resultados das emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>), em porcentagem de volume, e de hidrocarbonetos (HC), em ppm, medidas com a mistura B15 na saída do cano de escape, com o motor atuando no regime de 75% de carga.

**Tabela 13 - Emissões utilizando a mistura B15**

B15				
ROTAÇÃO\GASES	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm)	O2 (%vol)
1650	0,045	8,10	18,0	8,85
2000	0,025	7,85	16,5	9,05
2500	0,045	8,30	16,0	8,40
2800	0,055	8,15	16,5	8,70

## 4.4 MISTURA B25

### 4.4.1 TORQUE

Fez-se o levantamento da curva de torque a plena carga e com ela foram calculadas as cargas parciais a 75% da plena carga para a mistura B25. Para facilitar a análise dos dados tanto a plena quanto a 75% da carga foram convertidas para kgf.m, por se tratar de uma unidade mais usual facilitando visualização da magnitude dessas cargas, como pode ser visto na Tab. (14).

**Tabela 14 - Torque utilizando a mistura B25**

B25				
Rotação (rpm)	Carga (kP)		Torque (Kgf.m)	Torque (Kgf.m)
	Plena	75%	Plena	75%
1650	31,00	23,25	22,26	16,69
2000	28,30	21,23	20,32	15,24
2500	24,30	18,23	17,45	13,09
2800	19,90	14,93	14,29	10,72

### 4.4.2 POTÊNCIA

Após o levantamento das curvas de torque foi possível realizar os cálculos das potências, tanto para a plena quanto para a carga parcial de 75%. Foi aplicado um fator de correção para a potência conforme a Eq. (7).

Para uma melhor visualização da magnitude das potências, foi feita a conversão de cavalo vapor (CV) para quilowatts (kW) conforme a Tab. (15) que mostra as potências corrigidas para plena e 75% da carga para a mistura B25.

**Tabela 15 - Potência utilizando a mistura B25**

B25				
Rotação (rpm)	Potência Corrigida (CV)	Potência Corrigida (KW)	Potência Corrigida (CV)	Potência Corrigida (KW)
	Plena	Plena	75%	75%
1650	59,85	44,02	44,88	33,01
2000	66,22	48,71	49,67	36,53
2500	71,08	52,28	53,31	39,21
2800	65,19	47,95	48,89	35,96

#### 4.4.3 CONSUMO

A Tabela (16) apresenta o consumo específico da mistura B25 e o consumo médio, em kg por hora, com seu respectivo desvio padrão, para as diversas rotações, a 75% da carga.

**Tabela 16 - Consumo utilizando a mistura B25**

B25				
Consumo				
Rotação (rpm)	Média (kg/h)	Desvio Padrão (kg/h)	Litros/h	Espécífico (g/kWh)
1650	8,14	0,12	9,48	246,60
2000	9,28	0,18	10,81	254,13
2500	11,84	0,73	13,78	301,85
2800	12,78	0,04	14,88	355,41

#### 4.4.4 EMISSÕES

A medição das emissões de gases no tubo de escape é parâmetro muito importante para avaliar a qualidade do combustível. A Tabela (17) mostra os resultados das emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>), em porcentagem de volume, e de hidrocarbonetos (HC), em ppm, medidas com a mistura B25 na saída do cano de escape, com o motor atuando no regime de 75% de carga.

**Tabela 17 - Emissões utilizando a mistura B25**

B25				
ROTAÇÃO\GASES	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm)	O2 (%vol)
1650	0,025	7,2	20,5	10,60
2000	0,045	8,2	21,0	9,40
2500	0,050	8,7	22,5	8,45
2800	0,055	6,9	23,5	11,00

#### 4.5 MISTURA B50

##### 4.5.1 TORQUE

Fez-se o levantamento da curva de torque a plena carga e com ela foram calculadas as cargas parciais a 75% da plena carga para a mistura B50. Para facilitar a análise dos dados tanto a plena quanto a 75% da carga foram convertidas para kgf.m, por se tratar de uma unidade mais usual facilitando visualização da magnitude dessas cargas, como pode ser visto na Tab. (18).



**Tabela 18 - Torque utilizando a mistura B50**

B50				
Rotação (rpm)	Carga (kP)		Torque (Kgf.m)	Torque (Kgf.m)
	Plena	75%	Plena	75%
1650	31,00	23,25	22,26	16,69
2000	28,20	21,15	20,25	15,19
2500	24,20	18,15	17,38	13,03
2800	19,80	14,85	14,22	10,66

#### 4.5.2 POTÊNCIA

Após o levantamento das curvas de torque foi possível realizar os cálculos das potências, tanto para a plena quanto para a carga parcial de 75%. Foi aplicado um fator de correção para a potência conforme a Eq. (7).

Para uma melhor visualização da magnitude das potências, houve a conversão de cavalo vapor (CV) para quilowatts (kW) conforme a Tab. (19) que mostra as potências corrigidas para plena e 75% da carga para a mistura B50.

**Tabela 19 - Potência utilizando a mistura B50**

B50				
Rotação (rpm)	Potência Corrigida (CV)	Potência Corrigida (KW)	Potência Corrigida (CV)	Potência Corrigida (KW)
	Plena	Plena	75%	75%
1650	59,85	44,02	44,88	33,01
2000	65,99	48,53	49,49	36,40
2500	70,79	52,06	53,09	39,05
2800	64,86	47,71	48,65	35,78

### 4.5.3 CONSUMO

A Tabela (20) apresenta o consumo específico da mistura B50 e o consumo médio, em kg por hora, com seu respectivo desvio padrão, para as diversas rotações, a 75% da carga.

**Tabela 20 - Consumo utilizando a mistura B50**

B50				
Consumo				
Rotação (rpm)	Média (kg/h)	Desvio Padrão (kg/h)	Litros/h	Espécífico (g/kWh)
1650	8,25	0,05	9,57	249,94
2000	9,60	0,69	11,13	263,83
2500	11,94	0,23	13,84	305,77
2800	12,74	0,34	14,77	356,13

### 4.5.4 EMISSÕES

A Tabela (21) mostra os resultados das emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>), em porcentagem de volume, e de hidrocarbonetos (HC), em ppm, medidas com a mistura B50 na saída do cano de escape, com o motor atuando no regime de 75% de carga.

**Tabela 21 - Emissões utilizando a mistura B50**

B50				
ROTAÇÃO\GASES	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm)	O2 (%vol)
1650	0,025	7,80	21,0	9,30
2000	0,030	7,90	20,5	7,90
2500	0,050	8,25	21,0	8,05
2800	0,055	7,85	25,0	8,55

## 4.6 MISTURA B75

### 4.6.1 TORQUE

Fez-se o levantamento da curva de torque a plena carga e com ela foram calculadas as cargas parciais a 75% da plena carga para a mistura B75. Para facilitar a análise dos dados tanto a plena quanto a 75% da carga foram convertidas para kgf.m, por se tratar de uma unidade mais usual facilitando visualização da magnitude dessas cargas, como pode ser visto na Tab.(22).

**Tabela 22 - Torque utilizando a mistura B75**

B75				
Rotação (rpm)	Carga (kP)		Torque (Kgf.m)	
	Plena	75%	Plena	75%
1650	30,90	23,18	22,19	16,64
2000	28,20	21,15	20,25	15,19
2500	24,10	18,08	17,30	12,98
2800	19,70	14,78	14,14	10,61

### 4.6.2 POTÊNCIA

Após o levantamento das curvas de torque foi possível realizar os cálculos das potências, tanto para a plena quanto para a carga parcial de 75%. Foi aplicado um fator de correção para a potência conforme a Eq. (7).

Para uma melhor visualização da magnitude das potências, houve a conversão de cavalo vapor (CV) para quilowatts (kW) conforme a Tab. (23) que mostra as potências corrigidas para plena e 75% da carga para a mistura B75.

**Tabela 23 - Potência utilizando a mistura B75**

B75				
Rotação (rpm)	Potência Corrigida (CV)	Potência Corrigida (KW)	Potência Corrigida (CV)	Potência Corrigida (KW)
	Plena	Plena	75%	75%
1650	59,65	43,87	44,74	32,91
2000	65,99	48,53	49,49	36,40
2500	70,49	51,85	52,87	38,89
2800	64,54	47,47	48,40	35,60

#### 4.6.3 CONSUMO

A Tabela (24) apresenta o consumo específico da mistura B75 e o consumo médio, em kg por hora, com seu respectivo desvio padrão, para as diversas rotações, a 75% da carga.

**Tabela 24 - Consumo utilizando a mistura B75**

B75				
Consumo				
Rotação (rpm)	Média (kg/h)	Desvio Padrão (kg/h)	Litros/h	Específico (g/kWh)
1650	8,44	0,26	9,74	256,42
2000	9,75	0,19	11,25	267,74
2500	12,16	0,30	14,03	312,67
2800	13,38	0,42	15,44	375,82

#### 4.6.4 EMISSÕES

A Tabela (25) mostra os resultados das emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>), em porcentagem de volume, e de hidrocarbonetos (HC), em ppm, medidas com a mistura B75 na saída do cano de escape, com o motor atuando no regime de 75% de carga.

**Tabela 25 - Emissões utilizando a mistura B75**

B75				
ROTAÇÃO\GASES	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm)	O2 (%vol)
1650	0,025	4,75	11,5	14,00
2000	0,025	5,85	11,5	12,40
2500	0,040	6,35	14,0	11,55
2800	0,050	7,05	14,5	10,65

#### 4.7 BIODIESEL PURO B100

##### 4.7.1 TORQUE

Fez-se o levantamento da curva de torque a plena carga e com ela foram calculadas as cargas parciais a 75% da plena carga para a mistura B100. Para facilitar a análise dos dados tanto a plena quanto a 75% da carga foram convertidas para kgf.m, por se tratar de uma unidade mais usual facilitando visualização da magnitude dessas cargas, como pode ser visto na Tab. (26).

**Tabela 26 - Torque utilizando a mistura B100**

B100				
Rotação (rpm)	Carga (kP)		Torque (Kgf.m)	Torque (Kgf.m)
	Plena	75%	Plena	75%
1650	30,80	23,10	22,11	16,59
2000	28,10	21,08	20,18	15,13
2500	24,00	18,00	17,23	12,92
2800	19,70	14,78	14,14	10,61

#### 4.7.2 POTÊNCIA

Após o levantamento das curvas de torque foi possível realizar os cálculos das potências, tanto para a plena quanto para a carga parcial de 75%. Foi aplicado um fator de correção para a potência conforme a Eq. (7).

Para uma melhor visualização da magnitude das potências, houve a conversão de cavalo vapor (CV) para quilowatts (kW) conforme a Tab. (27) que mostra as potências corrigidas para plena e 75% da carga para a mistura B100.

**Tabela 27 - Potência utilizando a mistura B100**

B100				
Rotação (rpm)	Potência Corrigida (CV)	Potência Corrigida (KW)	Potência Corrigida (CV)	Potência Corrigida (KW)
	Plena	Plena	75%	75%
1650	59,46	43,73	44,59	32,80
2000	65,75	48,36	49,32	36,27
2500	70,20	51,63	52,65	38,72
2800	64,54	47,47	48,40	35,60

### 4.7.3 CONSUMO

A Tabela (28) apresenta o consumo específico da mistura B100 e o consumo médio, em kg por hora, com seu respectivo desvio padrão, para as diversas rotações, a 75% da carga.

**Tabela 28 - Consumo utilizando a mistura B100**

B100				
Consumo				
Rotação (rpm)	Média (kg/h)	Desvio Padrão (kg/h)	Litros/h	Específico (g/kWh)
1650	8,65	0,13	9,94	263,77
2000	10,04	0,11	11,54	276,83
2500	12,30	0,06	14,13	317,55
2800	13,55	0,12	15,58	380,73

### 4.7.4 EMISSÕES

A Tabela (29) mostra os resultados das emissões de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>), em porcentagem de volume, e de hidrocarbonetos (HC), em ppm, medidas com a mistura B100 na saída do cano de escape, com o motor atuando no regime de 75% de carga.

**Tabela 29 - Emissões utilizando a mistura B100**

B100				
ROTAÇÃO\GASES	CO (%vol)	CO2 (%vol)	HC (ppm)	O2 (%vol)
1650	0,03	6,55	17,00	8,50
2000	0,03	6,65	17,00	8,75
2500	0,04	6,95	17,00	8,60
2800	0,05	6,70	19,00	8,80

## 4.8 COMPARATIVO - TORQUE

### 4.8.1 TORQUE EM KP

Para facilitar a comparação entre as medições de torque das misturas de biodiesel e diesel comercial foi elaborada a Tab. (30) onde estão expressas as cargas parciais em kP. A partir desses dados foi gerada a Fig. (24), onde é possível visualizar melhor as cargas para cada rotação.

Tabela 30 - Torque, em kP, a 75% da carga

Torque (75%)	Diesel	B5	B15	B25	B50	B75	B100
Rotação (rpm)	Torque 75% (KP)	Torque 75% (KP)	Torque 75% (KP)	Torque 75% (KP)	Torque 75% (KP)	Torque 75% (KP)	Torque 75% (KP)
1650	23,63	23,40	23,33	23,25	23,25	23,18	23,10
2000	21,75	21,30	21,30	21,23	21,15	21,15	21,08
2500	18,75	18,30	18,23	18,23	18,15	18,08	18,00
2800	15,53	14,98	15,00	14,93	14,85	14,78	14,78

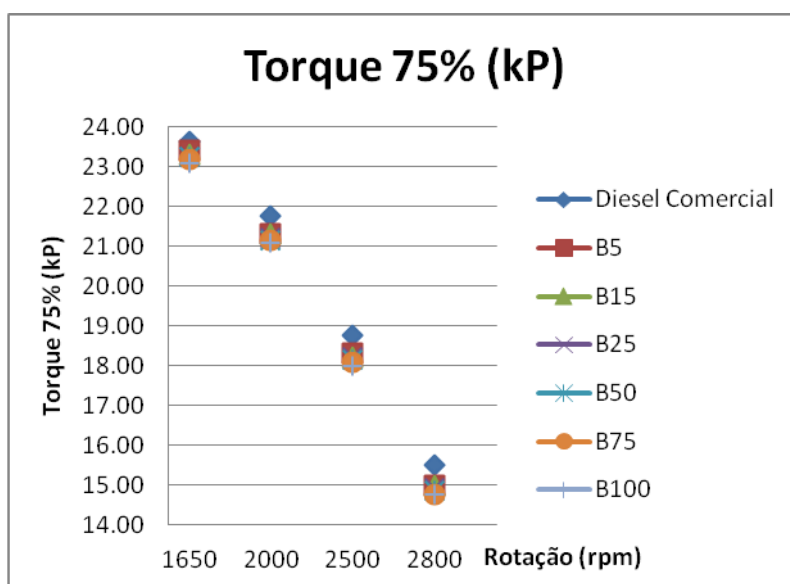


Figura 24 - Comparativo dos torques (kP), a 75% da carga

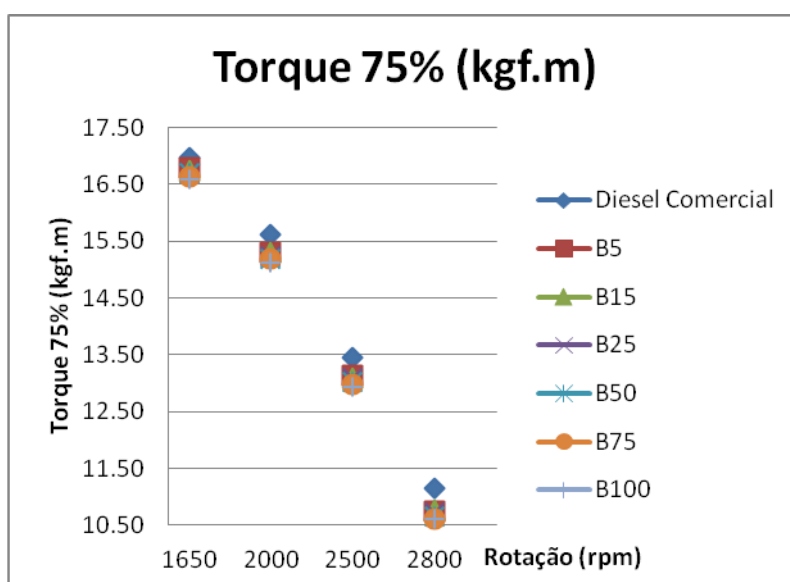


## 4.8.2 TORQUE EM KGF.M

A Tabela (31) mostra as cargas parciais em kgf.m, por ser uma unidade de torque mais conhecida, o que facilita a compreensão da magnitude dessas cargas e sua comparação.

**Tabela 31 - Torque, em kgf.m, a 75% da carga**

Torque (75%)	Diesel	B5	B15	B25	B50	B75	B100
Rotação (rpm)	Torque 75% (Kgf.m)	Torque 75% (Kgf.m)	Torque 75% (Kgf.m)	Torque 75% (Kgf.m)	Torque 75% (Kgf.m)	Torque 75% (Kgf.m)	Torque 75% (Kgf.m)
1650	16,96	16,80	16,75	16,69	16,69	16,64	16,59
2000	15,62	15,29	15,29	15,24	15,19	15,19	15,13
2500	13,46	13,14	13,09	13,09	13,03	12,98	12,92
2800	11,15	10,75	10,77	10,72	10,66	10,61	10,61

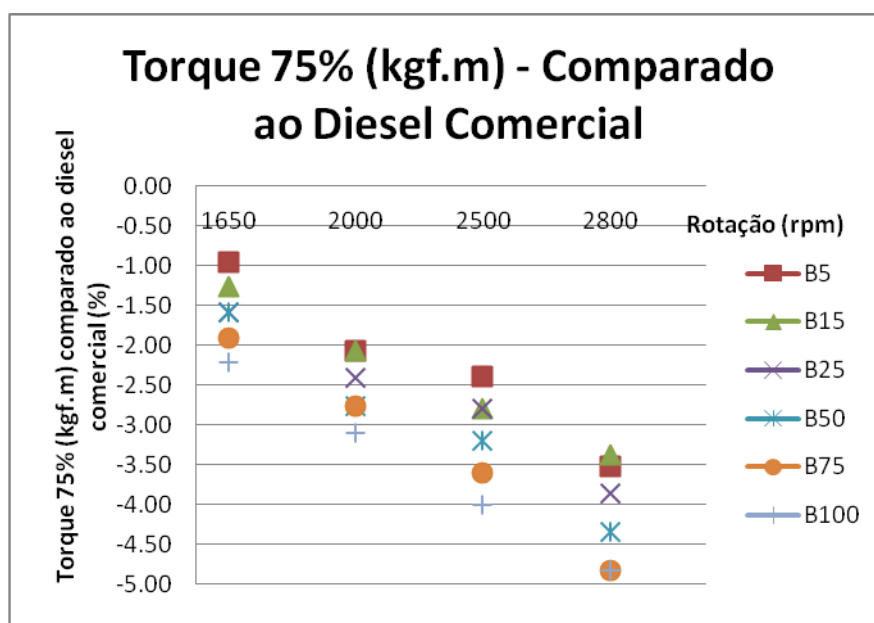


**Figura 25 - Comparativo dos torques (kgf.m), a 75% da carga**

A Tabela (32) mostra o comparativo da carga em porcentagem, ilustrando a diferença entre os torques medidos que podem ser visualizados na Fig. (26).

**Tabela 32 - Diferença percentual do torque, a 75% da carga, comparado ao diesel comercial**

Torque 75% (kgf.m)	B5	B15	B25	B50	B75	B100
Rotação (rpm)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)
1650	-0,95	-1,27	-1,59	-1,59	-1,90	-2,22
2000	-2,07	-2,07	-2,41	-2,76	-2,76	-3,10
2500	-2,40	-2,80	-2,80	-3,20	-3,60	-4,00
2800	-3,53	-3,38	-3,86	-4,35	-4,83	-4,83



**Figura 26 - Diferença percentual do torque, a 75% da carga, comparado ao diesel**

#### 4.9 COMPARATIVO – POTÊNCIA

Na Tabela (33) está expresso o comparativo da potência em kW entre as misturas de biodiesel e diesel comercial e na Fig. (27) uma visualização desse comparativo.

#### 4.9.1 POTÊNCIA EM KW

Tabela 33 - Potência, em kW, a 75% da carga

Potência (75%)	Diesel	B5	B15	B25	B50	B75	B100
Rotação (rpm)	Potência Corr 75%(KW)	Potência Corr 75%(KW)	Potência Corr 75%(KW)	Potência Corr 75%(KW)	Potência Corr 75%(KW)	Potência Corr 75%(KW)	Potência Corr 75%(KW)
1650	33,54	33,23	33,12	33,01	33,01	32,91	32,80
2000	37,43	36,66	36,66	36,53	36,40	36,40	36,27
2500	40,34	39,37	39,21	39,21	39,05	38,89	38,72
2800	37,41	36,09	36,14	35,96	35,78	35,60	35,60

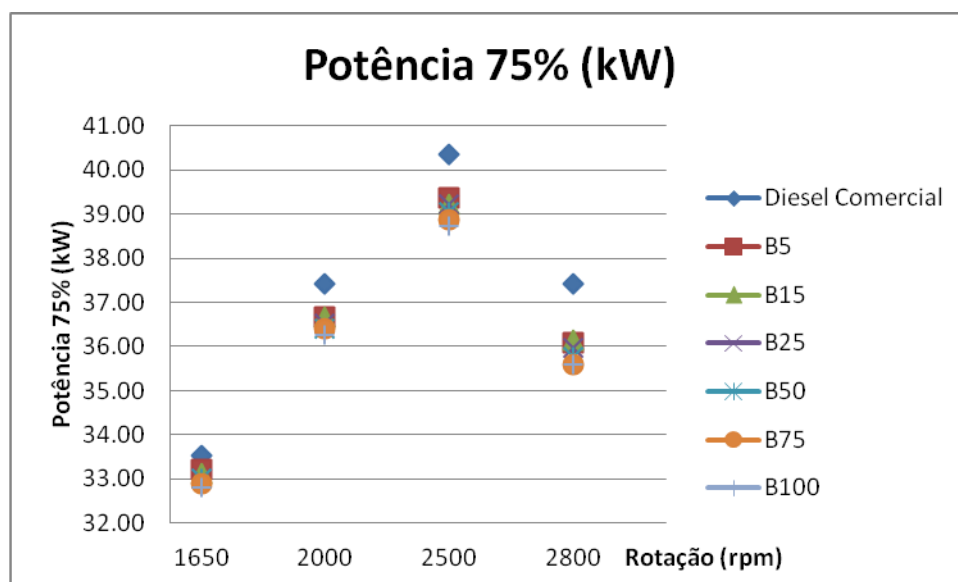


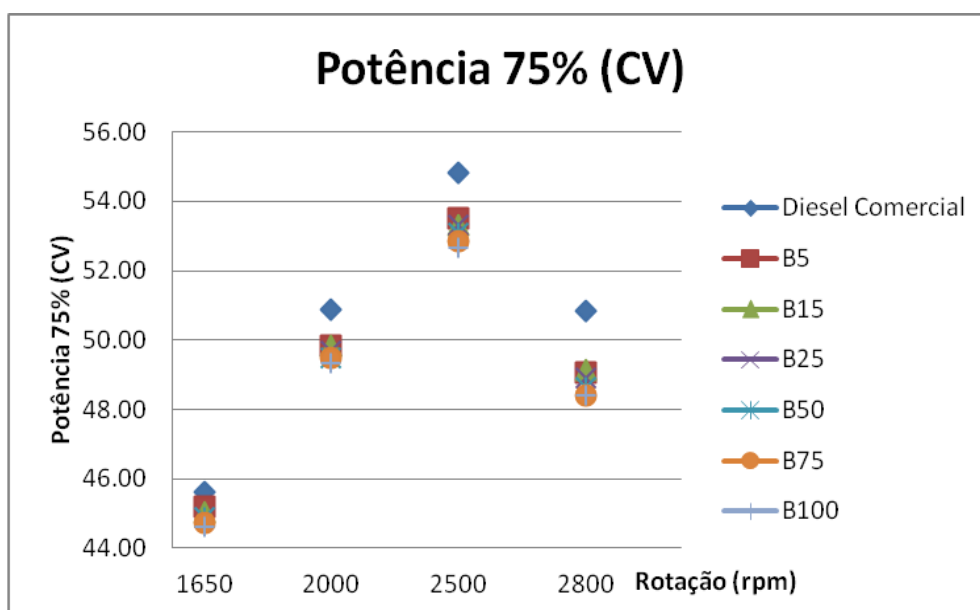
Figura 27 - Comparativo das potências (kW), a 75% da carga

#### 4.9.2 POTÊNCIA EM CV

A fim de mostrar de forma mais clara o comparativo de potência, esta foi convertida em cavalo vapor (CV) e está disposta na Tab. (34). A Figura (28) dispõe graficamente esses dados, facilitando a comparação dos resultados.

**Tabela 34 - Potência, em CV, a 75% da carga**

Potência (75%)	Diesel	B5	B15	B25	B50	B75	B100
Rotação (rpm)	Potência Corr 75% (CV)	Potência Corr 75% (CV)	Potência Corr 75% (CV)	Potência Corr 75% (CV)	Potência Corr 75% (CV)	Potência Corr 75% (CV)	Potência Corr 75% (CV)
1650	45,61	45,17	45,03	44,88	44,88	44,74	44,59
2000	50,90	49,84	49,84	49,67	49,49	49,49	49,32
2500	54,84	53,53	53,31	53,31	53,09	52,87	52,65
2800	50,86	49,07	49,14	48,89	48,65	48,40	48,40

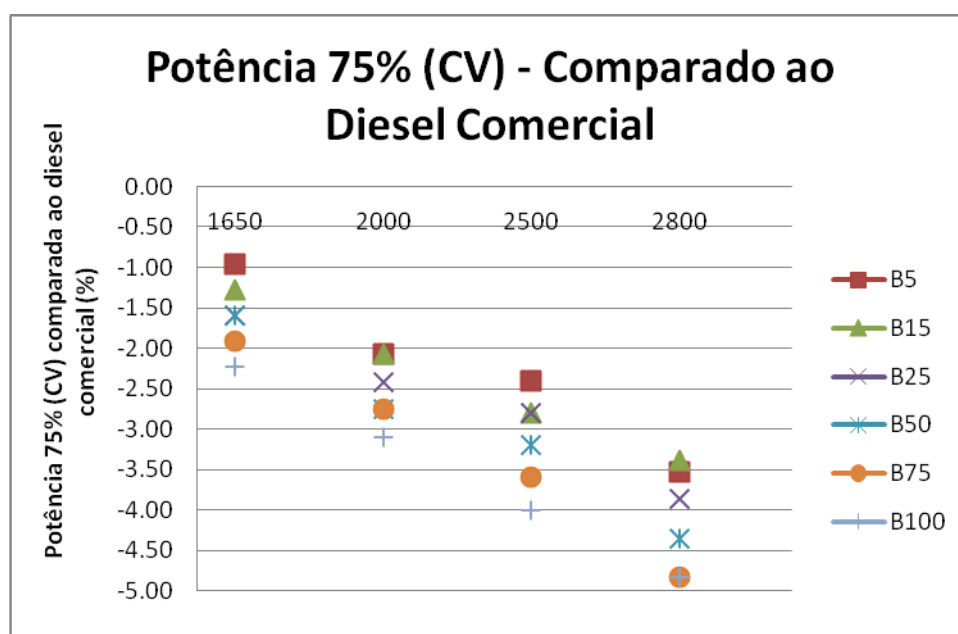


**Figura 28 - Comparativo das potências (CV), a 75% da carga**

A Tabela (35) apresenta o comparativo entre as potências das misturas e o diesel comercial, em percentual.

**Tabela 35 - Diferença percentual da potência, a 75% da carga, comparado ao diesel comercial**

Potência 75% (CV)	B5	B15	B25	B50	B75	B100
Rotação (rpm)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)
1650	-0,95	-1,27	-1,59	-1,59	-1,90	-2,22
2000	-2,07	-2,07	-2,41	-2,76	-2,76	-3,10
2500	-2,40	-2,80	-2,80	-3,20	-3,60	-4,00
2800	-3,53	-3,38	-3,86	-4,35	-4,83	-4,83



**Figura 29 - Diferença percentual da potência, a 75% da carga, comparado ao diesel**

## 4.10 COMPARATIVO – CONSUMO

### 4.10.1 CONSUMO EM G/KWH

Na Tabela (36) estão dispostos os valores dos consumos específicos de combustível para todas as misturas e para o diesel comercial.

Tabela 36 - Consumo, em g/kWh, a 75% da carga

Consumo	Diesel	B5	B15	B25	B50	B75	B100
Rotação (rpm)	Espescífico (g/kWh)	Espescífico (g/kWh)	Espescífico (g/kWh)	Espescífico (g/kWh)	Espescífico (g/kWh)	Espescífico (g/kWh)	Espescífico (g/kWh)
1650	235,66	239,10	240,70	246,60	249,94	256,42	263,77
2000	242,35	248,00	249,37	254,13	263,83	267,74	276,83
2500	289,22	300,37	300,41	301,85	305,77	312,67	317,55
2800	333,17	347,33	348,99	355,41	356,13	375,82	380,73

A Figura (30) mostra os valores dos consumos específicos de combustível graficamente.

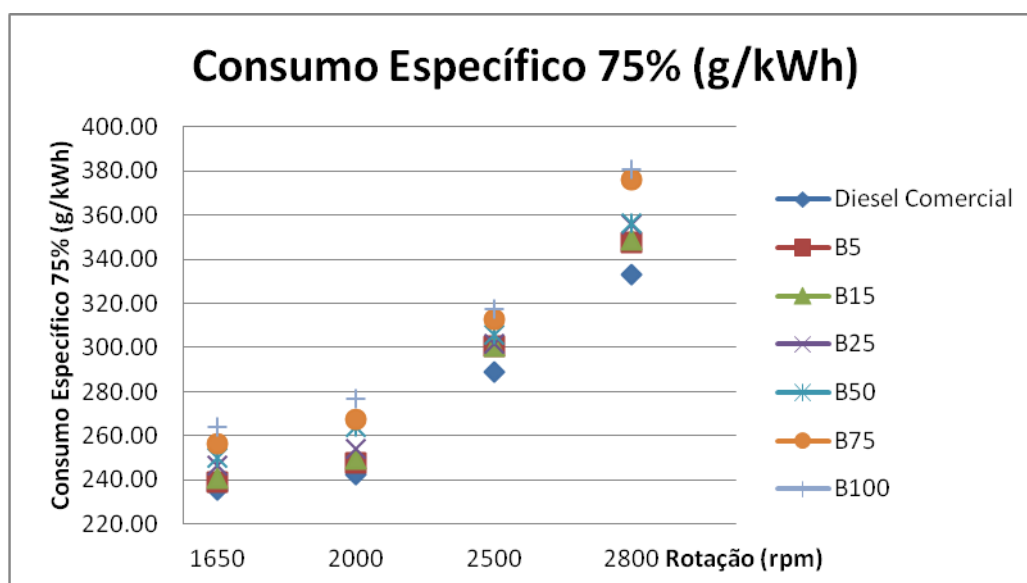
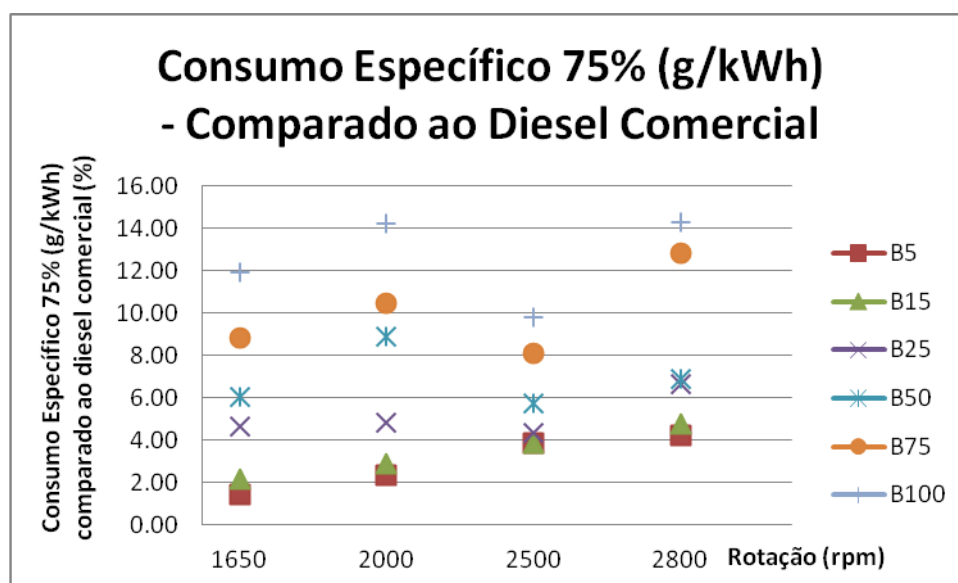


Figura 30 - Comparativo dos consumos (g/kWh), a 75% da carga

Para facilitar a comparação de rendimento das misturas em relação ao diesel comercial, foi feita a Tab. (37) que mostra a comparação percentual entre as misturas e o diesel comercial.

**Tabela 37 - Diferença percentual do consumo(g/kwh), a 75% da carga, comparado ao diesel comercial**

<b>Consumo 75% (g/kWh)</b>	<b>B5</b>	<b>B15</b>	<b>B25</b>	<b>B50</b>	<b>B75</b>	<b>B100</b>
<b>Rotação (rpm)</b>	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)
<b>1650</b>	1,46	2,14	4,64	6,06	8,81	11,93
<b>2000</b>	2,33	2,90	4,86	8,86	10,47	14,23
<b>2500</b>	3,86	3,87	4,37	5,72	8,11	9,80
<b>2800</b>	4,25	4,75	6,67	6,89	12,80	14,27



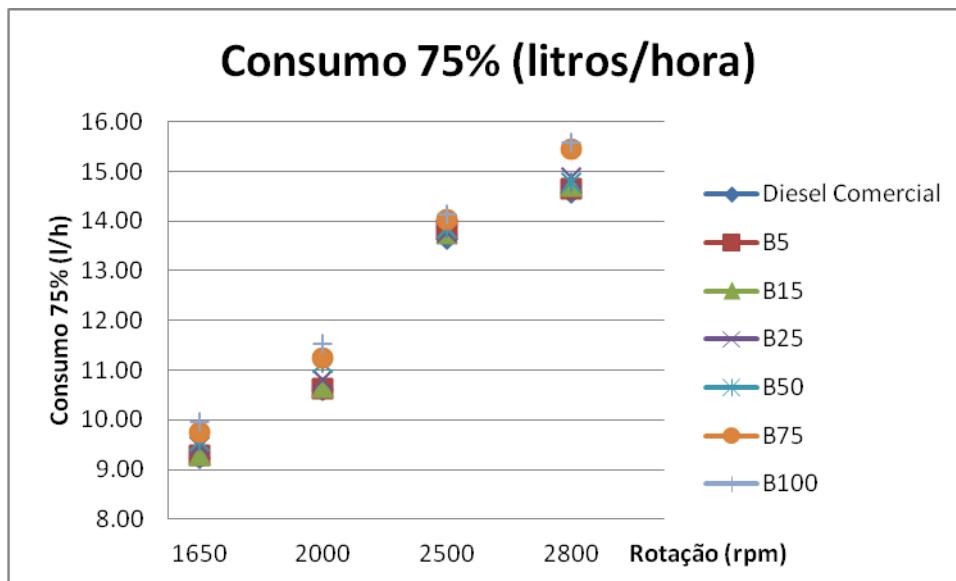
**Figura 31 - Diferença percentual do consumo (g/kWh), a 75% da carga, comparado ao diesel**

#### 4.10.2 CONSUMO EM LITROS/HORA

Em alguns casos a unidade utilizada de consumo de combustível é dada em litros por hora. Então, faz-se necessário a conversão do consumo para essa unidade. Essa conversão é mostrada na Tab. (38) e sua disposição representada na Fig. (32).

**Tabela 38 Consumo, em l/h, a 75% da carga**

<b>Consumo 75%</b>	<b>Diesel</b>	<b>B5</b>	<b>B15</b>	<b>B25</b>	<b>B50</b>	<b>B75</b>	<b>B100</b>
<b>Rotação (rpm)</b>	Litros/hora	Litros/hora	Litros/hora	Litros/hora	Litros/hora	Litros/hora	Litros/hora
<b>1650</b>	9,24	9,28	9,30	9,48	9,57	9,74	9,94
<b>2000</b>	10,61	10,62	10,66	10,81	11,13	11,25	11,54
<b>2500</b>	13,64	13,81	13,74	13,78	13,84	14,03	14,13
<b>2800</b>	14,57	14,64	14,71	14,88	14,77	15,44	15,58



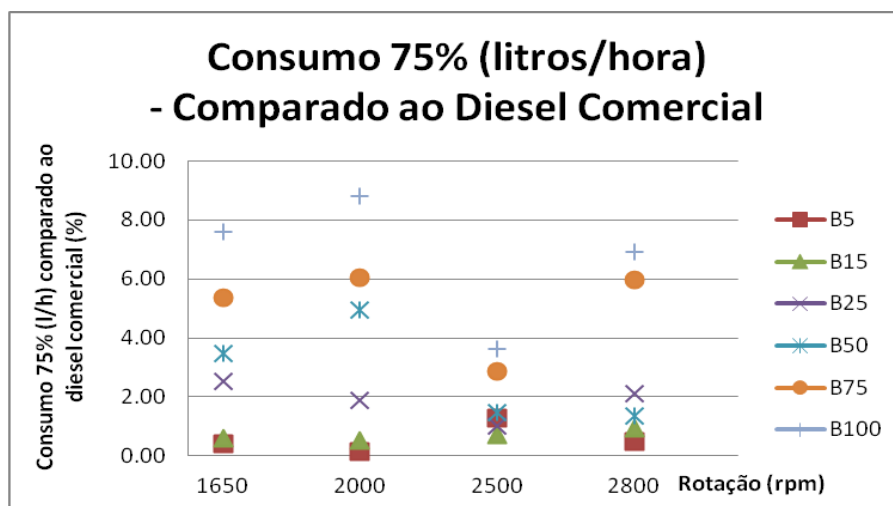
**Figura 32 - Comparativo dos consumos (l/h), a 75% da carga**

A Tabela (39) mostra o percentual de consumo das misturas em relação ao diesel comercial juntamente com a Fig (33) gerada a partir da referida tabela.



**Tabela 39 - Diferença percentual do consumo (l/h), a 75% da carga, comparado ao diesel comercial**

Consumo 75% (l/h)	B5	B15	B25	B50	B75	B100
Rotação (rpm)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)
1650	0,41	0,58	2,54	3,49	5,38	7,59
2000	0,13	0,51	1,89	4,95	6,06	8,80
2500	1,28	0,70	1,01	1,47	2,89	3,62
2800	0,49	0,94	2,11	1,37	5,98	6,91



**Figura 33 - Diferença percentual do consumo (l/h), a 75% da carga, comparado ao diesel**

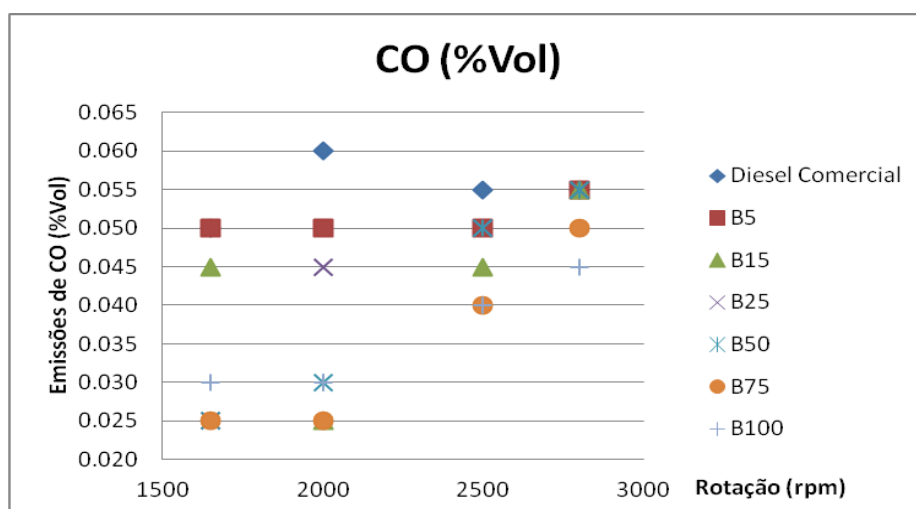
## 4.11 COMPARATIVO – EMISSÕES

### 4.11.1 EMISSÕES DE CO EM PORCENTAGEM DE VOLUME

Na tabela (40) estão dispostos os dados para emissão de monóxido de carbono (CO) para todas as misturas e para o diesel comercial coletados durante os testes. Com esses dados foi gerada a Fig.(34).

**Tabela 40 – Emissões de CO, em % de volume, a 75% da carga**

Emissões (%Vol)	Rotação (rpm)	Diesel	B5	B15	B25	B50	B75	B100
CO	1650	0,050	0,050	0,045	0,025	0,025	0,025	0,030
	2000	0,060	0,050	0,025	0,045	0,030	0,025	0,030
	2500	0,055	0,050	0,045	0,050	0,050	0,040	0,040
	2800	0,055	0,055	0,055	0,055	0,055	0,050	0,045



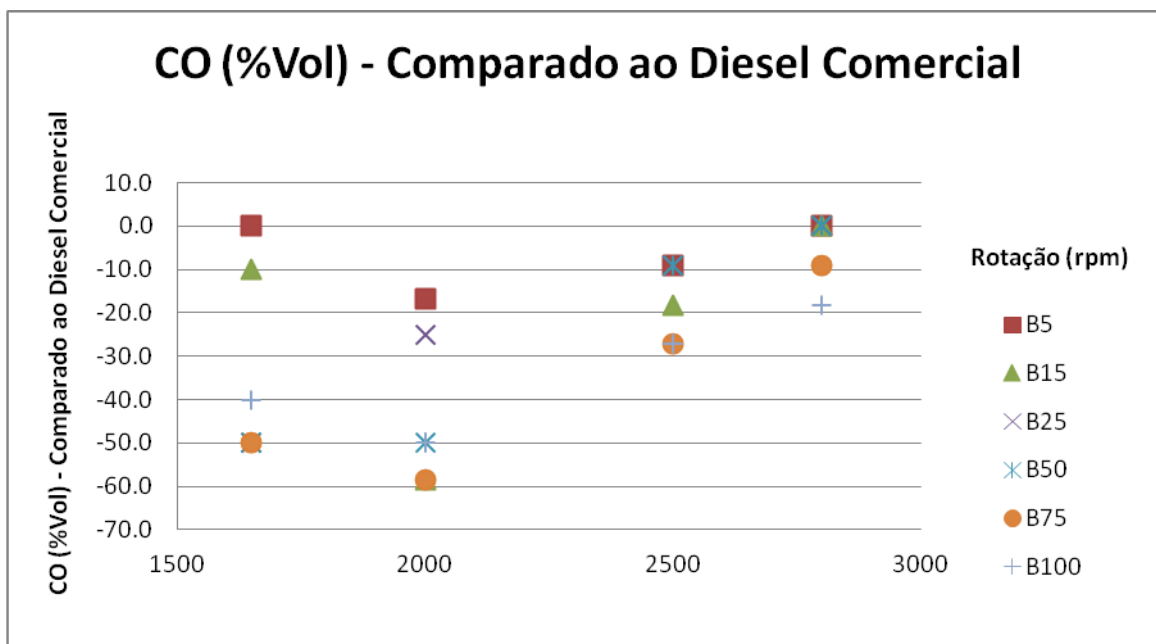
**Figura 34 - Emissões de CO (%vol), a 75% da carga**

Na Tabela (41) ouve a comparação entre as misturas de biodiesel e diesel comercial, a fim de facilitar a comparação entre as emissões de monóxido de carbono (CO).

**Tabela 41 - Diferença percentual das emissões de CO, a 75% da carga, comparado ao diesel comercial**

Emissões (%Vol)	Rotação (rpm)	B5	B15	B25	B50	B75	B100
		Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)
CO	1650	0,0	-10,0	-50,0	-50,0	-50,0	-40,0
	2000	-16,7	-58,3	-25,0	-50,0	-58,3	-50,0
	2500	-9,1	-18,2	-9,1	-9,1	-27,3	-27,3
	2800	0,0	0,0	0,0	0,0	-9,1	-18,2

A Figura (35) ilustra a disposição destes dados.



**Figura 35 - Diferença percentual das emissões de CO (%vol), a 75% da carga, comparado ao diesel comercial**

#### 4.11.2 EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> EM PORCENTAGEM DE VOLUME

Na Tabela (42) estão dispostos os dados para emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para todas as misturas e para o diesel comercial coletados durante os testes. Com esses dados foi gerada a Fig. (36).

**Tabela 42 - Emissões de CO<sub>2</sub>, em % de volume, a 75% da carga**

Emissões (%Vol)	Rotação (rpm)	Diesel	B5	B15	B25	B50	B75	B100
CO <sub>2</sub>	1650	8,15	8,00	8,10	7,20	7,80	4,75	6,55
	2000	8,40	8,00	7,85	8,20	7,90	5,85	6,65
	2500	9,10	7,95	8,30	8,70	8,25	6,35	6,95
	2800	8,60	7,30	8,15	6,90	7,85	7,05	6,70

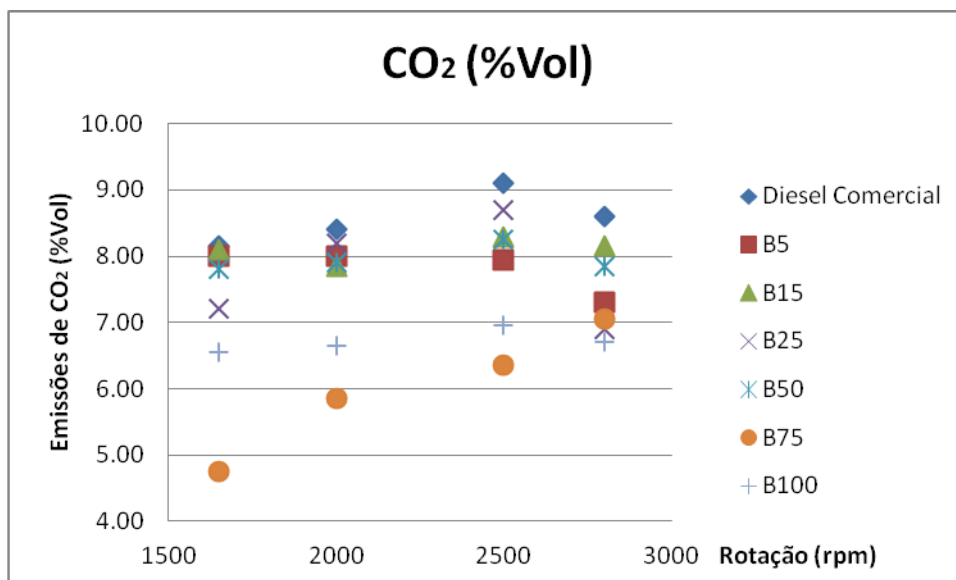
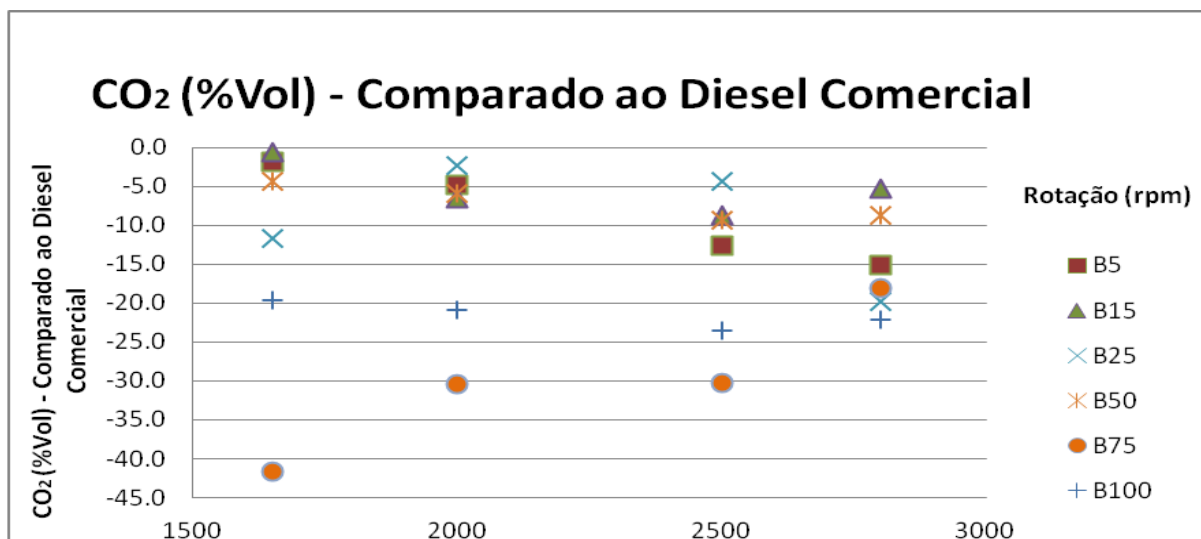


Figura 36 - Emissões de CO<sub>2</sub> (%vol), a 75% da carga

Na tabela (43) foi feita a comparação entre as misturas de biodiesel e diesel comercial, a fim de facilitar a comparação entre as emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), melhor ilustrada na Fig. (37) elaborado com esses dados de percentagem.

Tabela 43 - Diferença percentual das emissões de CO<sub>2</sub>, a 75% da carga, comparado ao diesel comercial

Emissões (%Vol)	Rotação (rpm)	B5	B15	B25	B50	B75	B100
		Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)
CO <sub>2</sub>	1650	-1,8	-0,6	-11,7	-4,3	-41,7	-19,6
	2000	-4,8	-6,5	-2,4	-6,0	-30,4	-20,8
	2500	-12,6	-8,8	-4,4	-9,3	-30,2	-23,6
	2800	-15,1	-5,2	-19,8	-8,7	-18,0	-22,1



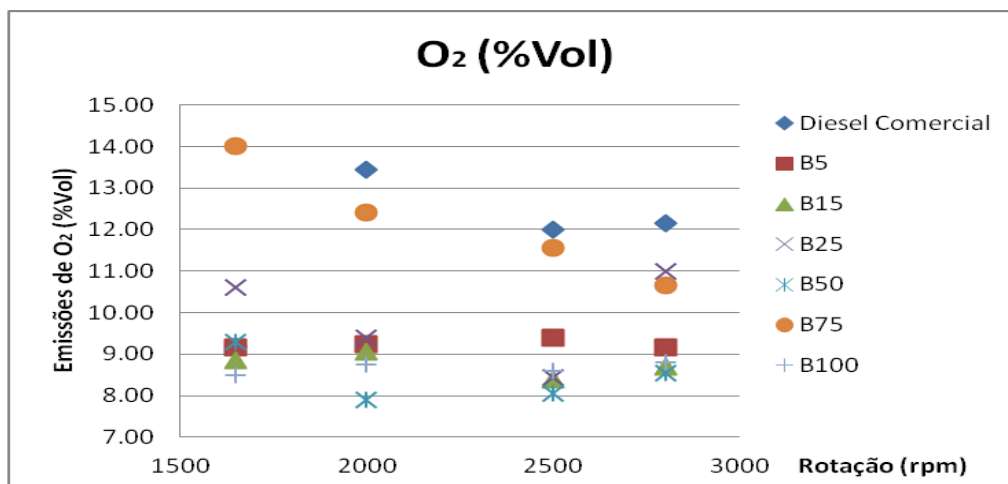
**Figura 37 - Diferença percentual das emissões de CO<sub>2</sub> (%vol), a 75% da carga, comparado ao diesel comercial**

#### 4.11.3 EMISSÕES DE O<sub>2</sub> EM PORCENTAGEM DE VOLUME

Na tabela (44) estão dispostos os dados para emissão de oxigênio (O<sub>2</sub>) para todas as misturas e para o diesel comercial coletados durante os testes. Com esses dados foi gerada na Fig.(38).

**Tabela 44 - Emissões de O<sub>2</sub>, em % de volume, a 75% da carga**

Emissões (%Vol)	Rotação (rpm)	Diesel	B5	B15	B25	B50	B75	B100
O <sub>2</sub>	1650	9,20	9,15	8,85	10,60	9,30	14,00	8,50
	2000	13,45	9,25	9,05	9,40	7,90	12,40	8,75
	2500	12,00	9,40	8,40	8,45	8,05	11,55	8,60
	2800	12,15	9,15	8,70	11,00	8,55	10,65	8,80



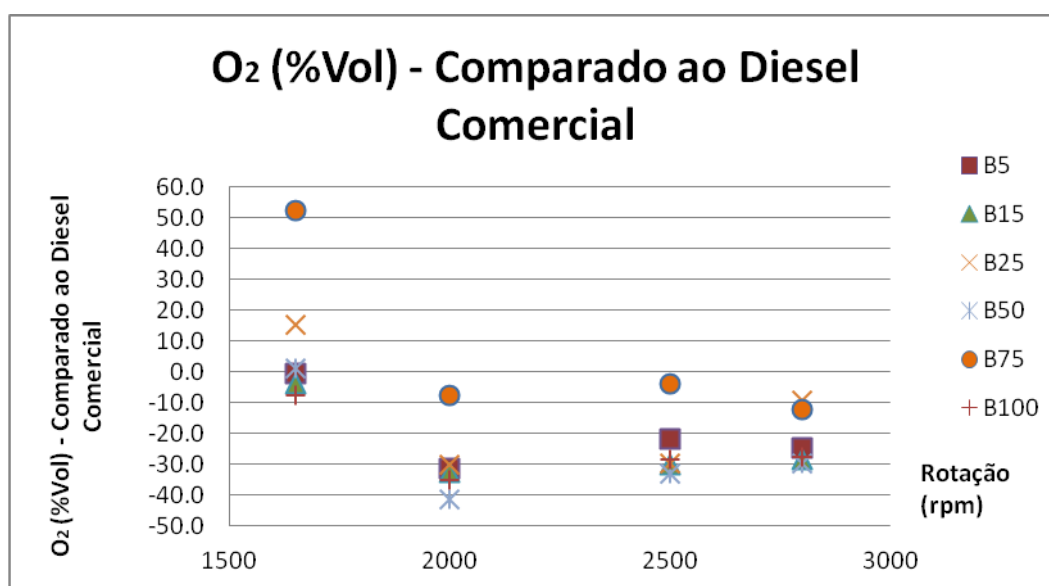
**Figura 38 - Emissões de O<sub>2</sub> (%vol), a 75% da carga**

Na Tabela (45) foi feita a comparação entre as misturas de biodiesel e diesel comercial a fim de facilitar a comparação entre as emissões de oxigênio (O<sub>2</sub>).

**Tabela 45 - Diferença percentual das emissões de O<sub>2</sub>, a 75% da carga, comparado ao diesel comercial**

Emissões (%Vol)	Rotação (rpm)	B5	B15	B25	B50	B75	B100
		Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)
O <sub>2</sub>	1650	-0,5	-3,8	15,2	1,1	52,2	-7,6
	2000	-31,2	-32,7	-30,1	-41,3	-7,8	-34,9
	2500	-21,7	-30,0	-29,6	-32,9	-3,7	-28,3
	2800	-24,7	-28,4	-9,5	-29,6	-12,3	-27,6

A Figura (39) ilustra a disposição destes dados.



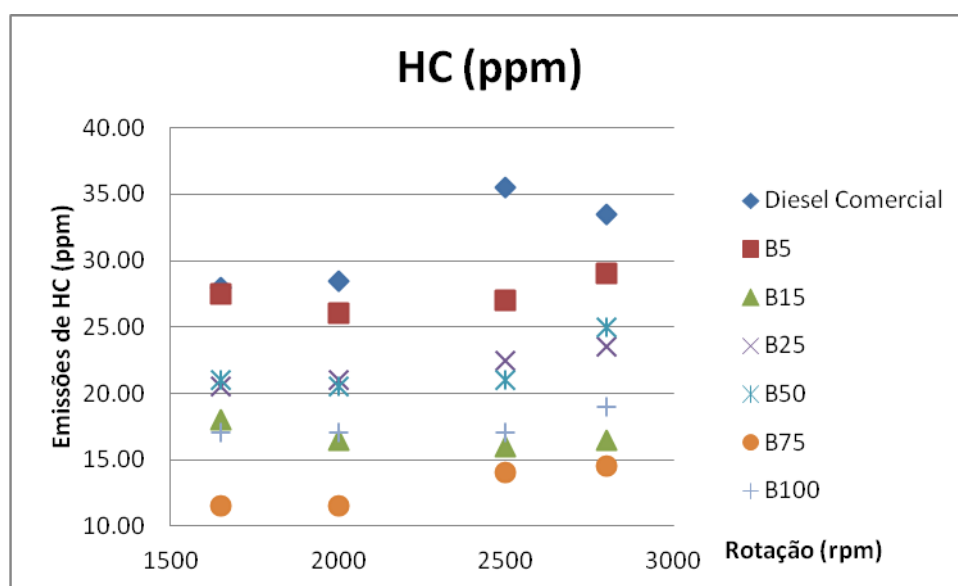
**Figura 39 - Diferença percentual das emissões de O<sub>2</sub> (%vol), a 75% da carga, comparado ao diesel comercial**

#### 4.11.4 EMISSÕES DE HC EM PARTES POR MILHÃO

Na Tabela (46) estão dispostos os dados para emissão de hidrocarbonetos (HC) para todas as misturas e para o diesel comercial coletados durante os testes. Com esses dados foi gerada na Fig.(40).

**Tabela 46 - Emissões de HC, em partes por milhão, a 75% da carga**

Emissões (%Vol)	Rotação (rpm)	Diesel	B5	B15	B25	B50	B75	B100
HC	1650	28,00	27,50	18,00	20,50	21,00	11,50	17,00
	2000	28,50	26,00	16,50	21,00	20,50	11,50	17,00
	2500	35,50	27,00	16,00	22,50	21,00	14,00	17,00
	2800	33,50	29,00	16,50	23,50	25,00	14,50	19,00

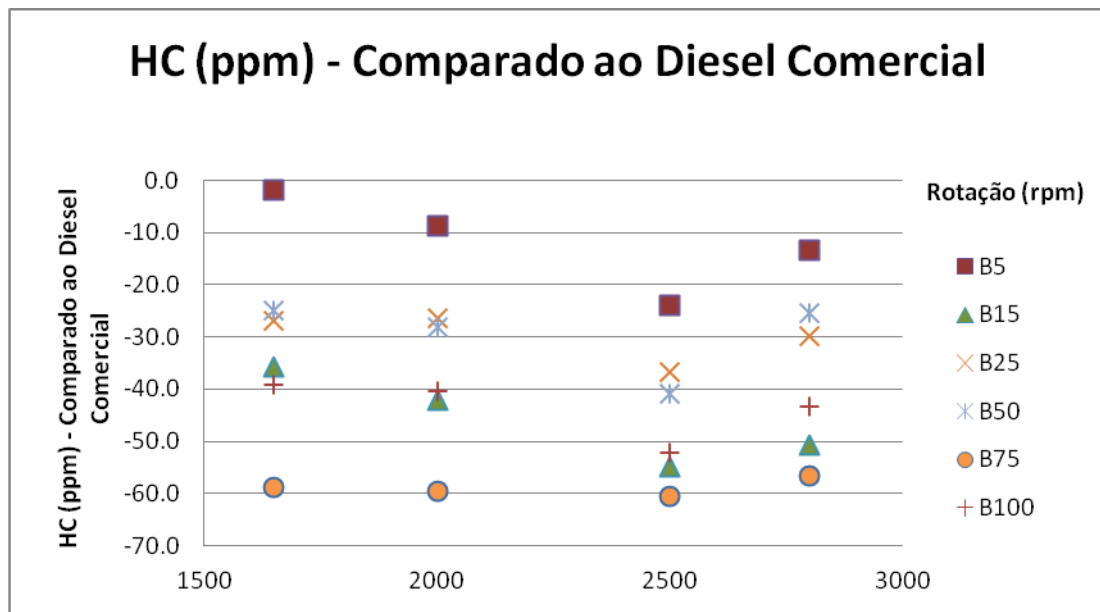


**Figura 40 - Emissões de HC (ppm), em partes por milhão, a 75% da carga**

Na tabela (47) foi feita a comparação entre as misturas de biodiesel e diesel comercial, a fim de facilitar a comparação entre as emissões de hidrocarbonetos (HC), melhor ilustrada na Fig. (41) elaborado com esses dados de percentagem.

**Tabela 47 - Diferença percentual das emissões de HC, a 75% da carga, comparado ao diesel comercial**

Emissões (%Vol)	Rotação (rpm)	B5	B15	B25	B50	B75	B100
		Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)	Comparado ao Diesel (%)
HC	1650	-1,8	-35,7	-26,8	-25,0	-58,9	-39,3
	2000	-8,8	-42,1	-26,3	-28,1	-59,6	-40,4
	2500	-23,9	-54,9	-36,6	-40,8	-60,6	-52,1
	2800	-13,4	-50,7	-29,9	-25,4	-56,7	-43,3



**Figura 41 - Diferença percentual das emissões de HC, a 75% da carga, comparado ao diesel comercial**



## 5 CONCLUSÕES

O objetivo principal deste trabalho era verificar a qualidade do biodiesel produzido na planta piloto do campus Gama, a fim de constatar a possibilidade de sua utilização como combustível nos veículos a diesel da UnB, sem que fosse necessário alterar os ajustes do sistema de injeção de combustível.

Nos primeiros testes com biodiesel puro, em outubro de 2011, pôde-se notar a extrema dificuldade de partida a frio e as irregularidades de funcionamento em baixas rotações além de um aumento expressivo do consumo específico de combustível.

No início dos testes dessa etapa foi feito um novo lote de biodiesel que se mostrou bem mais eficiente com relação ao torque e potência, como pode ser notado nos resultados obtidos dessas medições, onde, mesmo com biodiesel puro, a potência não sofreu mudanças substanciais. Porém o problema com a partida a frio fica nítido com o aumento da concentração de biodiesel na mistura com o diesel comercial. Já com B50 foi possível notar tal dificuldade, não sendo recomendada nenhuma mistura acima dessa concentração para uso diário ou comercial. Após as medições iniciais com B0, B25, B50, B75, e B100 foi constatada essa dificuldade e por esse motivo deu-se atenção ao intervalo entre B0 e B25, a fim de encontrar uma proporção ideal para o uso diário. O problema de estabilidade de funcionamento em baixas rotações ainda permaneceu, sendo agravado nos testes com as misturas maiores do que o B25.

Em relação ao consumo específico de combustível, fator determinante para viabilização do uso de uma mistura do biodiesel, houve um aumento considerável do consumo com o aumento da proporção de biodiesel, o que já era esperado devido ao menor poder calorífico do biodiesel comparado ao diesel.

Notou-se o aumento da rotação do motor, o que já era esperado, já que a densidade do biodiesel é maior do que a do diesel e o débito da bomba injetora do sistema de alimentação de combustível não foi alterado.

Os resultados das emissões de poluentes também seguiram o esperado. A emissão de monóxido de carbono sofreu uma substancial diminuição com a mistura B25 em baixas rotações medidas, chegando a 50% em algumas situações. O dióxido de carbono, apesar de ser em uma proporção menor, também diminuiu de forma geral. Com os hidrocarbonetos

aconteceu o mesmo que com o monóxido, apesar de ter havido diminuição significativa de seus índices em toda faixa de rotação.

Deste modo, chega-se a conclusão de que há possibilidade de uso de uma mistura de diesel-biodiesel dentro de uma faixa entre B15 e B25, capaz de atender as exigências mecânicas necessárias para um bom funcionamento do motor e ainda melhorando a emissão de poluentes, contudo, sem afetar significativamente seu desempenho.

## 6 PROPOSTAS FUTURAS

Faz-se necessário maior empenho, por parte da administração do campus da FGA, no que diz respeito à montagem da bancada de ensaio do campus Gama. Esta irá garantir a confiabilidade dos resultados e sua repetibilidade.

Realizar a manutenção no opacímetro de modo a garantir a medição da opacidade durante os testes, verificando se estão de acordo com a legislação vigente.

Adquirir um medidor de NOx para completar o estudo das emissões que devem ser estudadas no projeto.

Fazer uma pesquisa de viabilidade econômica da utilização do biodiesel de modo a garantir a aplicabilidade do projeto no mercado.

Testar a qualidade do biodiesel produzido a partir de óleo de fritura e compará-lo com o óleo de soja nos quesitos torque, potência, emissões, consumo e custo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANP. Resolução nº7, 2008. Disponível em:

<[http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes\\_anp/2008/mar%C3%A7o/ranp%207%20-%202008.xml](http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2008/mar%C3%A7o/ranp%207%20-%202008.xml)>. Acesso em: out. 2011.

BARBOSA, R. L. et al. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel, 2007. Disponível em:

<[http://www.editora.ufla.br/site/\\_adm/upload/revista/32-5-2008\\_35.pdf](http://www.editora.ufla.br/site/_adm/upload/revista/32-5-2008_35.pdf)>. Acesso em: out. 2011.

BEN. Balanço Energético Nacional 2011, 2011. Disponível em:

<<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioFinal2011.aspx>>. Acesso em: out. 2011.

CASTELLANELLI, M. et al. Desempenho de motor ciclo Diesel em bancada dinamométrica utilizando misturas diesel/biodiesel, 2008.

DYNO-MITE. **Drives and Dynamometer Absorbers**. Disponível em: <[http://www.land-and-sea.com/ac\\_dynamometer/ac-dynamometer.htm](http://www.land-and-sea.com/ac_dynamometer/ac-dynamometer.htm)>.

EIA. **U.S Energy Information Administration 2011**, 2011. Disponível em:

<[http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=biofuel\\_biodiesel\\_environment](http://www.eia.gov/energyexplained/index.cfm?page=biofuel_biodiesel_environment)>. Acesso em: out. 2011.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2011. Disponível em:

<<http://www.epe.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: out. 2011.

FALLA, P. H. Microusina de Biodiesel, 2011. Disponível em:

<<http://projetobiodieselfga.jimdo.com/>>. Acesso em: out. 2011.

FALLA, P. H. et al. A Sustentabilidade Ambiental de Uma Planta Piloto para Fabricação de Biodiesel a Partir de Óleo de Fritura, 2010. Disponível em:

<<http://pt.scribd.com/doc/51471763/A-Sustentabilidade-Ambiental-de-Uma-Planta-Piloto-para-Fabricacao-de-Biodiesel-a-Partir-de-oleo-de-Fritura-Etudo-de-Caso>>.

GRABOSKI, M.; MCCORMICK, R. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines.

IEO. **International Energy Outlook 2011**, 2011. Disponível em:

<<http://www.eia.gov/forecasts/ieo/index.cfm>>. Acesso em: out. 2011.

LEI.Nº.11.097. Presidência da república, 2005. Disponível em:

<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm#art6xxiv](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11097.htm#art6xxiv)>.

MCT. Testes e ensaios para validação do uso da mistura biodiesel B5 em motores e veículos. **Ministério da Ciência e Tecnologia**, 2009.

- OLIVEIRA, L. B.; COSTA, A. O. D. Biodiesel: uma experiência de desenvolvimento sustentável. Disponível em:  
<(http://www.cntdespoluir.org.br/Downloads/Publica%C3%A7%C3%B5es%20externas/Biodiesel/Oliveira%20e%20Costa-%20biodiesel-uma%20experiencia%20de%20desenvolvimento%20sustent%C3%A1vel.pdf)>.
- PANAMBRA. Analisadores de gases e de opacidade para motores ciclo OTTO e DIESEL DiCom 4000. Disponível em:  
<http://www.panambra.com/produtosdetalhe.asp?sel\_fili\_codigo=1&FORN\_CODIGO=REP\_01\_02&PROD\_CODIGO=1\_06\_003&DEPT\_CODIGO=1\_06&DEPARTAMENTO=Analisadores>.
- PARENTE, E. J. D. S. Biodiesel: uma aventura tecnológica num país engraçado, 2003. Disponível em: <http://www.4shared.com/get/4dVTEI4J/BIODIESEL\_-\_Uma\_aventura\_tecno.html>.
- RANDAZZO, M. L. Emissões e performance de um veículo operando com misturas de óleo diesel, biodiesel e etanol, 2009. Disponível em:  
<http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=EMISS%C3%95ES+E+PERFORMANC E+DE+UM+VE%C3%8DCULO+OPERANDO+COM+MISTURAS+DE+%C3%93LE O+DIESEL%2C+BIODIESEL+E+ETANOL&source=web&cd=1&ved=0CB0QFjAA&url=http%3A%2F%2Fmea.pucminas.br%2Fdissert%2FmarioRandazzo.pdf&ei=x4fTTq> . Acesso em: out. 2011.
- REZENDE, D. B. D.; ÁVILA, R. Comparative Study of the Cold Weather Performance and Oxidation Stability among Different Samples of B20 and B100, 2008. Acesso em: out. 2011.
- SILVAI, P. R. F. D.; FREITAS, T. F. S. D. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/v38n3/a44v38n3.pdf>. Acesso em: 2011 10.
- U.S.D.A; U.S.D.E. An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles. **U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy**, 1998. Disponível em: <http://www.nrel.gov/docs/legosti/fy98/24772.pdf>. Acesso em: out. 2011.
- UBRABIO. Ubrabio, 2011. Disponível em: <http://www.ubrablo.com.br/>. Acesso em: out. 2011.